

**Rancang Bangun Alat Ukur Kandungan Konsentrasi Larutan  
ZnO Berbasis Sensor Serat Optik dengan *Cladding* Kitosan,  
Sensor GY8511, Mikrokontroler ESP32, dan Tampilan *Website***

**TUGAS AKHIR**

Untuk memenuhi sebagian persyaratan  
mencapai derajat S-1

Program Studi Fisika



Diajukan oleh:

Salsabila Ditya Anisa

19106020023

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
**SUNAN KALIJAGA**  
YOGYAKARTA

**PROGRAM STUDI FISIKA**  
**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**  
**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA**  
**YOGYAKARTA**

**2024**

# LEMBAR PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

## PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1602/Un.02/DST/PP.00.9/08/2024

Tugas Akhir dengan judul : Rancang Bangun Alat Ukur Kandungan Konsentrasi Larutan ZnO Berbasis Sensor Serat Optik dengan Cladding Kitosan, Sensor GY8511, Mikrokontroler ESP32, dan Tampilan Website

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : SALSABILA DITYA ANISA  
Nomor Induk Mahasiswa : 19106020023  
Telah diujikan pada : Rabu, 21 Agustus 2024  
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

### TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Dr. Widayanti, S.Si. M.Si.  
SIGNED

Valid ID: 66caec53a08ba



Penguji I

Frida Agung Rakhmadi, S.Si., M.Sc.  
SIGNED

Valid ID: 66e9895f1e1a5



Penguji II

Dr. Asih Melati, S.Si., M.Sc.  
SIGNED

Valid ID: 66cadb7505374



Yogyakarta, 21 Agustus 2024

UIN Sunan Kalijaga  
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.  
SIGNED

Valid ID: 66cc0c527c836

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

### SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Salsabila Ditya Anisa

NIM : 19106020023

Program Studi : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “Rancang Bangun Alat Ukur Kandungan Konsentrasi Larutan ZnO Berbasis Sensor Serat Optik dengan *Cladding* Kitosan, Sensor GY8511, Mikrokontroler ESP32, dan Tampilan *Website*” merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 16 Agustus 2024

Penulis

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA



Salsabila Ditya Anisa  
NIM. 19106020023

# SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

## SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan skripsi

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

*Assalamu'alaikum wr. wb.*

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : SALSABILA DITYA ANISA  
NIM : 19106020023  
Judul Skripsi : Rancang Bangun Alat Ukur Kandungan Konsentrasi Larutan ZnO Berbasis Sensor Serat Optik dengan *Cladding* Kitosan, Sensor GY8511, Mikrokontroler ESP32, dan Tampilan *Website*.

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Fisika.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

*Wassalamu'alaikum wr. wb.*

Pembimbing II

Rochan Rifai, S.Si., M.Sc.  
NIP. 19980208 000000 1 301

Yogyakarta, 16 Agustus 2024

Pembimbing I

Dr. Widayanti, S.Si., M.Si.  
NIP. 19760526 200604 2 005

**Rancang Bangun Alat Ukur Kandungan Konsentrasi Larutan ZnO Berbasis  
Sensor Serat Optik dengan *Cladding* Kitosan, Sensor GY8511,  
Mikrokontroler ESP32, dan Tampilan *Website***

**Salsabila Ditya Anisa  
19106020023**

**INTISARI**

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh masalah pencemaran limbah ion  $Zn^{2+}$  di sungai Jakarta, yang dapat memberikan dampak negatif, seperti merusak lingkungan dan menyebabkan gangguan kesehatan. Saat ini, metode deteksi logam berat yang umum digunakan, seperti metode elektrokimia, memiliki keterbatasan dalam kondisi lingkungan ekstrem. Sebagai alternatif, serat optik digunakan karena ketahanannya terhadap kondisi tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat alat ukur berbasis sensor serat optik, membuat sensor serat optik, dan mengkarakterisasi alat ukur berbasis sensor serat optik. Penelitian dilakukan dalam enam tahap utama: perancangan dan pembuatan alat ukur, pembuatan sensor serat optik, pembuatan sampel ZnO, pengambilan data, dan karakterisasi alat ukur. Perancangan alat menggunakan Corel Draw dan Fritzing, sedangkan pembuatan perangkat keras melibatkan ESP32, sensor GY8511, sensor ADS, LM5007, serta perangkat lunak yang dikembangkan menggunakan Arduino IDE, Visual Studio Code, XAMPP, dan tampilan website. Sensor serat optik dibuat dengan mengelupas jaket dan *cladding*, serta melapisi *cladding* dengan kitosan. Sampel ZnO disiapkan menggunakan campuran bubuk ZnO dan butanol dengan variasi konsentrasi larutan 2 ppm, 4 ppm, 6 ppm, 8 ppm, dan 10 ppm. Karakterisasi dilakukan untuk menentukan sensitivitas, linearitas, dan zero offset alat ukur. Hasilnya menunjukkan bahwa sensor dengan *cladding* yang dikelupas 1 cm memiliki sensitivitas -0,1151 V/ppm dan linearitas  $R^2 = 0,9594$ , sementara sensor dengan *cladding* yang dikelupas 2 cm memiliki sensitivitas -0,086 V/ppm dan linearitas  $R^2 = 0,9881$ .

**Kata kunci** : Sensor Serat Optik, *Cladding*, Serat Optik, Sensor GY8511, ESP32, Sensitivitas



***Design and Development of a ZnO Concentration Measurement Device Based on Optical Fiber Sensor with Chitosan Cladding, GY8511 Sensor, ESP32 Microcontroller, and Website Interface***

**Salsabila Ditya Anisa**

**19106020023**

**ABSTRACT**

*This research is motivated by the issue of Zn<sup>2+</sup> ion waste pollution in the Jakarta River, which can have negative impacts on the environment and health. Currently, commonly used heavy metal detection methods, such as electrochemical methods, have limitations in extreme environmental conditions. As an alternative, optical fibers are used due to their resistance to such conditions. This study aims to design and develop a measurement device based on optical fiber sensors and characterize the device. The research was conducted in six main stages: designing and developing the measurement device, creating the optical fiber sensor, preparing ZnO samples, data collection, and characterizing the measurement device. The device design was created using Corel Draw and Fritzing, while the hardware development involved ESP32, GY8511 sensor, ADS sensor, LM5007, and software developed using Arduino IDE, Visual Studio Code, XAMPP, and a website interface. The optical fiber sensor was created by stripping the jacket and cladding and then coating the cladding with chitosan. ZnO samples were prepared by mixing ZnO powder and butanol, with solution concentration variations of 2 ppm, 4 ppm, 6 ppm, 8 ppm, and 10 ppm. Characterization was carried out to determine the sensitivity, linearity, and zero offset of the measurement device. The results showed that the sensor with a 1 cm stripped cladding had a sensitivity of -0.1151 V/ppm and a linearity of  $R^2 = 0.9594$ , while the sensor with a 2 cm stripped cladding had a sensitivity of -0.086 V/ppm and a linearity of  $R^2 = 0.9881$ .*

**Keywords:** *Fiber Optic Sensor, Cladding, Fiber Optic, Sensor GY8511, ESP32, Sensitivity*

## HALAMAN MOTTO

Teruslah belajar karena kita tidak pernah tahu ilmu mana yang akan menyelamatkan kita di saat terjatuh. Teruslah belajar, beradaptasi, dan berkembang, karena kombinasi ketiga hal tersebut akan membantu kamu untuk menemukan berbagai solusi atas segala permasalahan. -Salsabila Ditya Anisa

*I see it, I like it, I want it, I got it*

-Ariana Grande



STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk:

Allah SWT.

Penulis, Salsabila Ditya Anisa

Kedua orang tua penulis

Teman-teman Fisika 2019

Study Club Fisika Instrumentasi

Teman-teman luar Fisika Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga

Yogyakarta

Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta





## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala karena atas berkat rahmat-Nya lah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Skripsi atau tugas akhir merupakan persyaratan wajib yang harus dipenuhi oleh mahasiswa Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta, guna menyelesaikan tingkat pendidikan strata S1. Shalawat serta salam tidak lupa tercurahkan selalu kepada Nabi yang insyaa Allah akan memberi syafaat ialah Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat dan para umatnya. Alhamdulillah berkat dukungan dari berbagai pihak penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Karenanya penulis menyampaikan rasa terima kasih yang tulus kepada:

1. Kedua orangtua penulis, Bapak Harna dan Ibu Yuni, yang selalu memberikan semangat, motivasi dan doa-doanya kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
2. Ibu Anis Yuniati, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Kepala Program Studi Fisika UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Ibu Dr. Widayanti, S.Si. M.Si. selaku Dosen Pembimbing yang senantiasa memberikan arahan dan motivasi ketika penulisan tugas akhir ini. Semoga senantiasa dimudahkan segala urusannya dan keberkahan selalu tercurah kepada beliau.
4. Bapak Rochan Rifai, S.Si., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing yang senantiasa memberikan arahan dan motivasi ketika penulisan tugas akhir

ini. Semoga senantiasa dimudahkan segala urusannya dan keberkahan selalu tercurah kepada beliau.

5. Bapak Frida Agung Rakhmadi, S.Si., M.Sc selaku dosen pengampu instrumentasi dan selaku dosen pendamping akademik yang membimbing penulis sejak sah statusnya. Terima kasih banyak atas waktu dan kesabaran yang diberikan dalam mengampu dan membimbing selama masa studi di program studi Fisika Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
6. Seluruh Dosen Fisika maupun Dosen non-Fisika Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah memberikan bimbingan beserta ilmunya. Semoga mendapat balasan yang lebih baik dari Allah Subhanahu Wata'ala.
7. Habib terima kasih telah memberikan semangat, dukungan, kesabaran dalam mendengarkan keluhan, dan menyediakan waktu untuk brainstorming berbagi ide.
8. Bima, Tsalis, Fiqar, Aini, Fafa dan teman-teman Fisika 2019 kalian luar biasa. Dila dan Dinda, terimakasih telah memberikan semangat.
9. Serta semua pihak yang memberikan bantuan tulus dan dukungan dalam penyusunan tugas akhir ini yang tidak tersebutkan satu persatu.

Dengan segala keterbatasan, penulis menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari kata sempurna oleh karena itu diharapkan kritik dan saran demi kemajuan dan peningkatan tugas akhir ini. Semoga penelitian ini bermanfaat untuk semuanya.

Yogyakarta, Agustus 2024

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>II</b>
<b>SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....</b>	<b>III</b>
<b>SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI.....</b>	<b>IV</b>
<b>INTISARI .....</b>	<b>V</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>VI</b>
<b>HALAMAN MOTTO .....</b>	<b>VII</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>VIII</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>IX</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>XI</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>XIII</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>XIV</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3 Tujuan Penelitian.....</b>	<b>7</b>
<b>1.4 Batasan Masalah .....</b>	<b>8</b>
<b>1.5 Manfaat Penelitian .....</b>	<b>8</b>
<b>BAB II STUDI PUSTAKA .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Studi Pustaka.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2 Landasan Teori.....</b>	<b>16</b>
2.2.1 Teori Dasar Cahaya.....	16
2.2.2 Serat Optik .....	21
2.2.3 Struktur Serat Optik .....	21
2.2.4 Jenis Serat Optik .....	23
2.2.5 Hukum Lambert Beer.....	31
2.2.6 Sensor Serat Optik.....	32
2.2.7 Jenis Sensor Serat Optik.....	34
2.2.8 Logam Zn <sup>2+</sup> .....	35
2.2.9 Pengenceran Larutan ZnO.....	37
2.2.10 Kitosan .....	37
2.2.11 Arduino .....	39
2.2.12 ESP32.....	44
2.2.13 XAMPP.....	45
2.2.14 PHP .....	46
2.2.15 MySQL.....	47
2.2.16 MQTT .....	49
2.2.17 LED UV .....	50
2.2.18 Sensor GY8511 .....	51
2.2.19 ADS1115.....	54
2.2.20 Zero Offset .....	55
2.2.21 Sensitivitas .....	55
2.2.22 Tegangan RMS.....	56
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>57</b>
<b>3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....</b>	<b>57</b>

3.1.1 Waktu Penelitian .....	57
3.1.2 Tempat Penelitian.....	57
<b>3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....</b>	<b>58</b>
3.2.1 Alat Perancangan alat ukur .....	58
3.2.2 Alat dan Bahan Sensor Serat Optik.....	59
3.2.3 Alat dan Bahan Pembuatan Alat Ukur .....	60
3.2.4 Alat dan Bahan Pembuatan Larutan Induk dan Larutan Standar ZnO.....	61
3.2.5 Alat dan Bahan Pengambilan Data .....	61
<b>3.3 Prosedur Penelitian .....</b>	<b>62</b>
3.3.1 Perancangan Alat Ukur .....	63
3.3.2 Pembuatan Sensor Serat Optik.....	66
3.3.3 Pembuatan Alat Ukur .....	69
3.3.4 Pembuatan Larutan ZnO .....	77
3.3.5 Pengambilan Data Sensor Serat Optik .....	78
3.3.6 Karakterisasi Alat Ukur.....	78
<b>BAB IV .....</b>	<b>80</b>
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>80</b>
<b>4.1 Hasil Penelitian.....</b>	<b>80</b>
4.1.1 Hasil Perancangan Alat Ukur.....	80
4.1.2 Hasil Pembuatan Sensor Serat Optik .....	81
4.1.3 Hasil Pembuatan Alat Ukur .....	85
4.1.4 Hasil Pembuatan Larutan ZnO.....	87
4.1.5 Hasil Pengambilan Data.....	88
4.1.6 Hasil Karakterisasi Alat Ukur .....	93
<b>4.2 Pembahasan .....</b>	<b>95</b>
4.2.1 Pembahasan Hasil Perancangan.....	95
4.2.2 Pembahasan Hasil Pembuatan Sensor.....	95
4.2.3 Pembahasan Hasil Pembuatan Alat Ukur .....	98
4.2.4 Pembahasan Hasil Pembuatan Larutan ZnO.....	103
4.2.5 Pembahasan Pengambilan Data dan Karakterisasi Sistem.....	104
<b>4.3 Integrasi-Interkoneksi .....</b>	<b>107</b>
<b>BAB V.....</b>	<b>109</b>
<b>PENUTUP.....</b>	<b>109</b>
5.1 Kesimpulan .....	109
5.2 Saran.....	109
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>111</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>117</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Studi pustaka.....	10
<b>Tabel 2.2</b> Pin ESP32.....	45
<b>Tabel 2.3</b> Pin Sensor GY8511 .....	53
<b>Tabel 3.1</b> Waktu penelitian.....	57
<b>Tabel 3.2</b> Alat perancangan alat ukur.....	58
<b>Tabel 3.3</b> Alat pengelupasan jaket serat optik.....	59
<b>Tabel 3.4</b> Alat pengelupasan <i>cladding</i> serat optik.....	59
<b>Tabel 3.5</b> Alat pembuatan lapisan kitosan pada <i>cladding</i> serat optik .....	59
<b>Tabel 3.6</b> Bahan pengelupasan jaket serat optik .....	59
<b>Tabel 3.7</b> Bahan pembuatan lapisan kitosan pada <i>cladding</i> serat optik .....	59
<b>Tabel 3. 8</b> Alat pembuatan alat ukur .....	60
<b>Tabel 3. 9</b> Bahan pembuatan alat ukur .....	60
<b>Tabel 3.10</b> Alat pembuatan larutan induk dan larutan standar ZnO.....	61
<b>Tabel 3.11</b> Bahan pembuatan larutan induk dan larutan standar ZnO .....	61
<b>Tabel 3.12</b> Alat pengambilan data sistem terdeksi berbasis sensor serat optik....	61
<b>Tabel 3.13</b> Bahan pengambilan data alat ukur berbasis sensor serat optik .....	61
<b>Tabel 3.14</b> Jalur komponen yang terhubung pada perangkat keras.....	70
<b>Tabel 3.15</b> Pengambilan data sensor serat optik .....	78
<b>Tabel 3.16</b> Karakterisasi alat ukur berbasis sensor serat optik.....	79
<b>Tabel 4.1</b> Hasil pengambilan data tegangan rms.....	93

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Sumber cahaya dalam serat optik (Hidayanti, 2018).....	17
<b>Gambar 2.2</b> Pemantulan internal total pada serat optik (Hidayanti, 2018) .....	18
<b>Gambar 2.3</b> Gelombang <i>Evanescent</i> dari Serat Optik (Maddu, 2005).....	20
<b>Gambar 2.4</b> Serat optik (Jazuli, 2021).....	21
<b>Gambar 2.5</b> Struktur serat optik (Cakir, 2011).....	22
<b>Gambar 2.6</b> Serat optic FD-620-10 (Dokumentasi pribadi).....	25
<b>Gambar 2.7</b> Serat optik singlemode (Saleh dan Teich, 2019).....	26
<b>Gambar 2.8</b> Serat optik <i>multimode</i> (Saleh dan Teich, 2019) .....	27
<b>Gambar 2.9</b> Indeks bias profil dan trsmisi cahaya <i>step index singlemode</i> (Senior, 2009) .....	29
<b>Gambar 2.10</b> Indeks bias dan transmisi Cahaya serat optik <i>step index multimode</i> (Senior, 2009).....	30
<b>Gambar 2.11</b> Indeks bias dan transmisi Cahaya serat optik <i>graded index</i> (Senior, 2009) .....	31
<b>Gambar 2.12</b> Tampilan perangkat lunak Arduino IDE .....	40
<b>Gambar 2.13</b> ESP32 (Nurhilman, 2021) .....	44
<b>Gambar 2.14</b> <i>Mapping</i> pin ESP32 (Prastyo, 2022) .....	45
<b>Gambar 2.15</b> Perangkat lunak XAMPP.....	46
<b>Gambar 2.16</b> Prinsip kerja MQTT.....	49
<b>Gambar 2.17</b> LED UVB (dokumentasi pribadi).....	51
<b>Gambar 2.18</b> Sensor GY8511 (Ichibot, 2022).....	52
<b>Gambar 2.19</b> Skema Sensor GY8511 (LAPIS semiconductor, 2013) .....	52
<b>Gambar 2.20</b> Pin Sensor GY8511 (Texasinstrument, 2009).....	53
<b>Gambar 2.21</b> Panjang gelombang yang bisa dideteksi sensor GY8511 .....	53
<b>Gambar 2.22</b> Sensor ADS 1115 .....	55
<b>Gambar 3.1</b> Tahapan prosedur penelitian.....	62
<b>Gambar 3.2</b> Diagram blok sistem .....	64
<b>Gambar 3.3</b> Desain prinsip kerja alat ukur berbasis sensor serat optik.....	64
<b>Gambar 3.4</b> Flowchart alur program Arduino IDE .....	72
<b>Gambar 3.5</b> Flowchart proses menjalankan <i>webserver</i> .....	74
<b>Gambar 3.6</b> Pembuatan program <i>database</i> di aplikasi MQTT to XAMPP.....	75
<b>Gambar 3.7</b> Flowchart pembuatan <i>website</i> .....	76
<b>Gambar 3.8</b> Konsentrasi terhadap tegangan alat ukur berbasis sensor serat optik .....	79
<b>Gambar 4.1</b> Skema rangkaian alat ukur.....	80
<b>Gambar 4.2</b> Skema rangkaian sumber cahaya.....	81
<b>Gambar 4.3</b> Desain rancangan casing tampak luar.....	81



<b>Gambar 4.4</b> Serat optik sebelum dikelupas jaketnya.....	82
<b>Gambar 4.5</b> Serat optik yang telah dikelupas jaketnya .....	83
<b>Gambar 4.6</b> Serat optik yang belum dikelupas claddingnya .....	83
<b>Gambar 4.7</b> Serat optik yang telah dikelupas claddingnya .....	83
<b>Gambar 4.8</b> Cladding kitosan pada serat optik.....	84
<b>Gambar 4.9</b> Perangkat keras subsistem detektor dan proses .....	85
<b>Gambar 4.10</b> Perangkat keras subsistem sumber cahaya .....	86
<b>Gambar 4.11</b> Gambar Tampilan Website Hasil Pengambilan Data .....	87
<b>Gambar 4. 12</b> Larutan ZnO.....	87
<b>Gambar 4. 13</b> Tampilan Website Hasil Pengambilan Data 1 cm <sup>2</sup> ppm .....	88
<b>Gambar 4. 14</b> Tampilan Website Hasil Pengambilan Data 1 cm <sup>4</sup> ppm .....	89
<b>Gambar 4. 15</b> Tampilan Website Hasil Pengambilan Data 1 cm <sup>6</sup> ppm .....	89
<b>Gambar 4. 16</b> Tampilan Website Hasil Pengambilan Data 1 cm <sup>8</sup> ppm .....	90
<b>Gambar 4. 17</b> Tampilan Website Hasil Pengambilan Data 1 cm <sup>10</sup> ppm .....	90
<b>Gambar 4. 18</b> Tampilan Website Hasil Pengambilan Data 2 cm 2 ppm .....	91
<b>Gambar 4. 19</b> Tampilan Website Hasil Pengambilan Data 2 cm 4 ppm .....	91
<b>Gambar 4. 20</b> Tampilan Website Hasil Pengambilan Data 2 cm 6 ppm .....	92
<b>Gambar 4. 21</b> Tampilan Website Hasil Pengambilan Data 2 cm 8 ppm .....	92
<b>Gambar 4. 22</b> Tampilan Website Hasil Pengambilan Data 2 cm 10 ppm .....	93
<b>Gambar 4.23</b> Grafik sensitivitas alat ukur berbasis sensor serat optik pengelupasan <i>cladding</i> 1 cm.....	94
<b>Gambar 4.24</b> Grafik sensitivitas alat ukur berbasis sensor serat optik pengelupasan <i>cladding</i> 2 cm.....	94

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

ZnO (*Zinc Oxide*) telah digunakan di berbagai bidang industri selama lebih dari seratus tahun, termasuk dalam industri kosmetik untuk pembuatan sunscreen dan krim wajah, industri cat untuk membuat pigmen putih, serta industri biomedis sebagai agen anti-diabetes dan antibakteri (Beegam et al., 2016) (Moezzi, 2018) (Malaikozhundan, 2018). Namun, penggunaan yang luas ini dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. ZnO yang mencemari kawasan perairan dapat merusak kesehatan dan organ ikan serta hewan laut lainnya (Beegam et al., 2016). Di daratan, pencemaran ZnO dapat merusak struktur tanah, mempengaruhi pertumbuhan dan kesehatan tanaman (Shateiwiy et al., 2021). Akibatnya, pencemaran ZnO di lingkungan dapat menjadi ancaman serius karena dapat merugikan ekosistem dan kesehatan lingkungan secara keseluruhan. Penggunaan ZnO sebagai bahan baku industri, pembuangan limbah ZnO, dan aktivitas pertambangan berkontribusi pada pencemaran lingkungan oleh ZnO (Shateiwiy, dkk., 2021) (Malaikozhundan, 2018). Aktivitas manusia tersebut berperan besar dalam penyebaran ZnO di lingkungan, yang tentu berdampak negatif terhadap kualitas lingkungan.

Kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh perbuatan manusia disebutkan dalam Al-Qur'an, di mana Allah berfirman dalam surat Ar-Rum ayat 41 yang berbunyi

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمَلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Artinya: “Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)” (kemenag.go.id).

Surat Ar-Rum ayat 41 menyatakan bahwa kerusakan yang terjadi di darat dan di laut sebagian besar disebabkan oleh tindakan manusia. Allah memberikan balasan atas perbuatan tersebut agar manusia dapat kembali ke jalan yang benar. Sebagai makhluk ciptaan Allah, manusia memiliki tanggung jawab untuk menjaga lingkungan dari segala jenis kerusakan. Salah satu bentuk kerusakan yang disebabkan oleh manusia adalah kontaminasi ZnO.

Pencemaran seng oksida (ZnO) dapat menyebabkan pencemaran air yang mengkontaminasi sumber-sumber air seperti sumur dan sungai. Salah satu daerah yang mengalami pencemaran ZnO adalah Jakarta. Berdasarkan pemantauan yang dilakukan oleh Dinas Lingkungan Hidup (DLH) DKI Jakarta pada tahun 2018-2022, ditemukan bahwa 16% dari sungai-sungai yang dipantau mengandung ion logam berat seng ( $Zn^{2+}$ ) dengan konsentrasi yang melebihi batas ambang baku mutu yang telah ditetapkan. Pencemaran ini terutama terjadi di kawasan sungai yang dekat dengan industri baterai (kompas.com).

Air yang mengandung ion logam berat dapat mengalami penurunan kualitas, dan jika dikonsumsi melebihi batas kadar aman, dapat berdampak fatal pada kesehatan manusia (Lambert dan Green, 2000). Menurut ketentuan yang tercantum dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010, jumlah maksimum kandungan ion  $Zn^{2+}$  yang dapat terdapat dalam air minum adalah 3 mg/L. Jika dikonsumsi melebihi kadar batas yang ditentukan, dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan seperti muntah, kram perut, diare, mual berkepanjangan. Jika tidak segera ditangani, dampaknya dapat berujung pada kematian, sehingga deteksi dini terhadap pencemaran ion  $Zn^{2+}$  sangat penting untuk dilakukan.

Terdapat metode deteksi yang dapat dilakukan untuk mendeteksi adanya ion logam berat yaitu menggunakan sensor elektrokimia. Sensor elektrokimia memiliki kelebihan dalam waktu respon yang cepat, dan sensitivitas yang tinggi. Namun, sensor elektrokimia memiliki kelemahan yaitu sangat mudah terpengaruh oleh kondisi lingkungan seperti kelembaban, tekanan udara, dan suhu yang dapat mempengaruhi performa dari sensor elektrokimia (Pan, dkk., 2024). Kelemahan tersebut dapat diatasi dengan alat ukur berbasis sensor serat optik.

Serat optik memiliki keunggulan tahan terhadap kondisi lingkungan seperti tahan terhadap interferensi elektromagnetik, tahan terhadap suhu dan tekanan yang ekstrim (Joe, dkk., 2018). Serat optik, yang terdiri dari tiga komponen utama yaitu jaket sebagai pelindung serat optik, *core* sebagai media utama transmisi cahaya, dan *cladding* sebagai lapisan pelindung yang menjaga cahaya tetap berada dalam

core, memiliki keunggulan dalam aplikasi deteksi konsentrasi larutan. Kelebihan utama serat optik terletak pada kemampuannya untuk mendeteksi perubahan indeks bias dalam larutan, yang secara langsung mempengaruhi intensitas cahaya yang melewati serat optik tersebut. Perubahan konsentrasi dalam larutan menyebabkan perubahan indeks bias, sehingga alat ukur berbasis sensor serat optik ini sangat sensitif terhadap variasi konsentrasi larutan.

Serat optik merupakan pengindera yang baik, oleh sebab itu serat optik dapat dijadikan sebagai sensor (Bashan dkk., 2019). Sensor serat optik memiliki tiga bagian yaitu optoelektronik sebagai sumber cahaya, *link* optik sebagai gelombang serat optik, dan sensor sebagai bagian yang langsung bersentuhan dengan material *sensing*. Pada penelitian ini, bagian yang langsung bersentuhan dengan material *sensing* adalah kitosan. Menurut Pebriani (2012), kitosan merupakan salah satu senyawa sintesis yang dapat mengadsorpsi logam berat seperti ion logam  $Zn^{2+}$ , karena memiliki massa molekul besar sehingga memiliki daya absorpsi yang besar. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Luthfi (2013), kitosan merupakan jenis absorben yang paling baik dibanding dengan zeolit dan karbon aktif. Selain itu, kitosan udang dipilih karena kitosan dari kulit udang sering digunakan untuk mendeteksi logam berat, salah satunya ion logam berat  $Zn^{2+}$  karena memiliki gugus amina ( $-NH_2$ ) dan gugus hidroksil ( $-OH$ ). Gugus amina dan hidroksil ini mampu menarik dan mengikat ion logam (Kumar dan Ravi, 2000). Oleh sebab itu, penelitian ini menggunakan kitosan sebagai material pengganti *cladding*.

Peranan penting *fiber optic* sebagai sensor telah mendorong banyak penelitian dalam bidang ini. Misalnya, Maddu pada tahun 2006 mengeksplorasi penggunaan *cladding* gelatin dalam sensor serat optik untuk mendeteksi kelembaban. Kemudian, pada tahun 2022, Sundari dan Harmadi mengembangkan sensor serat optik berbasis *cladding* gelatin dengan integrasi mikrokontroler untuk mendeteksi konsentrasi mikroplastik. Keunggulan sensor serat optik, seperti akurasi yang tinggi, *repeatability* yang baik, stabilitas, serta resistensi terhadap kebisingan, tegangan, dan interferensi, membuatnya menjadi pilihan yang unggul dalam aplikasi sensor. Selain itu, sensor serat optik juga menawarkan kemampuan transmisi jarak jauh, kemampuan multiparameter, kemampuan *multiplexing*, serta kesesuaian untuk aplikasi *Internet of Things* (IoT), menjadikannya sangat relevan dalam perkembangan teknologi saat ini.

Penelitian alat ukur berbasis sensor serat optik, sensor GY8511, mikrokontroler ESP32, dan tampilan *website* memperbaiki beberapa kekurangan dari penelitian sebelumnya terkait alat ukur logam berat berbasis sensor serat optik dengan *cladding* kitosan. Beberapa penelitian yang telah dilakukan adalah Rancang Bangun Alat Ukur Konsentrasi Logam Berat Timbal Berbasis Sensor Serat Optik *Evanescent* dengan *Cladding* Kitosan (Aida Rahayu dan Harmadi, 2019) dan Karakterisasi Serat Optik Berlapis Kitosan Untuk Deteksi Ion Logam Kadmium (Yulianti dkk., 2015). Namun, penelitian sebelumnya memiliki kekurangan, seperti kurangnya portabilitas, yang menyebabkan terbatasnya penggunaan. Tampilannya pun masih terbatas pada LCD sehingga data yang telah didapatkan belum disimpan



secara otomatis di *database*. Selain itu, penelitian sebelumnya belum berbasis IoT sehingga hasil pengujian tidak dapat diakses oleh banyak orang.

Guna mengatasi kelemahan tersebut, dikembangkan penelitian alat ukur berbasis sensor serat optik, sensor GY8511, mikrokontroler ESP32, dan tampilan *website*. Sensor GY8511 digunakan untuk mengubah intensitas cahaya UV LED menjadi tegangan. Untuk mengirimkan data dari sensor GY8511, diperlukan ESP32 sebagai mikrokontroler yang dilengkapi dengan Wi-Fi ESP32, memungkinkan koneksi sensor ke *database* (Iqbal, 2022). Data dari sensor GY8511 disimpan dalam *database* MySQL dan ditampilkan di *website*. Tampilan *website* dipilih karena mempermudah akses penggunaan dan penyampaian informasi yang lebih mudah. Agar *website* dapat diakses dari beberapa perangkat sekaligus, maka membutuhkan jaringan IoT (*Internet Of Things*) melalui MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*). Dengan menggunakan MQTT, *website* dapat mempublikasikan pesan ke topik tertentu, dan perangkat IoT yang berlangganan ke topik dapat menerima pesan tersebut. Hal ini memungkinkan *website* untuk mengirim instruksi atau menerima data dari perangkat IoT secara *realtime*.

Dengan menggunakan sistem ini, data yang dideteksi oleh sensor berbasis serat optik dapat disimpan secara otomatis ke dalam *database* MySQL. Selain itu, tampilan *website* yang dapat diakses dari beberapa perangkat sekaligus memungkinkan hasil pengambilan data dapat diakses oleh banyak orang. Hal ini meningkatkan fleksibilitas dan aksesibilitas alat ukur ini. Melalui perbaikan tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan Rancang Bangun Alat ukur

Kandungan Konsentrasi Larutan ZnO Berbasis Sensor Serat Optik dengan *Cladding* Kitosan, Menggunakan Sensor GY8511, Mikrokontroler ESP32, dan tampilan *website* sebagai alternatif alat ukur logam  $Zn^{2+}$  yang lebih mudah, ekonomis, praktis, efisien, dan cepat dalam deteksi logam berat  $Zn^{2+}$ .

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, dapat diketahui rumusan masalah dari penelitian ini adalah

1. Bagaimana merancang alat ukur berbasis sensor serat optik dengan *cladding* kitosan, sensor GY8511, ESP32, dan tampilan *Website*?
2. Bagaimana membuat sensor serat optik dengan *cladding* kitosan?
3. Bagaimana mengkarakterisasi sensor serat optik dengan *cladding* kitosan?
4. Bagaimana membuat alat ukur berbasis sensor serat optik dengan *cladding* kitosan, sensor GY8511, ESP32, dan tampilan *Website*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, dapat diketahui tujuan dari penelitian ini adalah

1. Merancang alat ukur berbasis sensor serat optik dengan *cladding* kitosan sensor GY8511, ESP32, dan tampilan *Website*.
2. Membuat sensor serat optik dengan *cladding* kitosan.
3. Mengkarakterisasi alat ukur berbasis sensor serat optik dengan *cladding* kitosan sensor GY8511, ESP32, dan tampilan *Website*.

4. Membuat alat ukur berbasis sensor serat optik dengan *cladding* kitosan, sensor GY8511, ESP32, dan tampilan *Website*

#### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah digunakan untuk menghindari kesalahan penafsiran terhadap penelitian, batasan masalah penelitian ini adalah

1. Serat optik yang digunakan adalah *step index multimode* tipe FD-620-10.
2. Pengelupasan *cladding* serat optik adalah 1 cm hingga 2 cm.
3. Kitosan dalam penelitian ini berupa bubuk yang dijual secara komersial.
4. Sampel uji berupa larutan ZnO di uji di lab sebagai parameter uji, dengan konsentrasi 2 ppm, 4 ppm, 6 ppm, 8 ppm dan 10 ppm.
5. Penelitian alat ukur berbasis sensor serat optik hanya mencapai tahap karakterisasi.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Penelitian alat ukur berbasis sensor serat optik dengan *cladding* kitosan, sensor GY8511, ESP32, dan tampilan *Website* diharapkan dapat menyempurnakan penelitian sebelumnya.
2. Penelitian alat ukur berbasis sensor serat optik dengan *cladding* kitosan, sensor GY8511, ESP32, dan tampilan *Website* diharapkan dapat menjadi sumber referensi bagi peneliti selanjutnya dalam pengembangan aplikasi serat optik.

3. Penelitian alat ukur berbasis sensor serat optik dengan *cladding* kitosan, sensor GY8511, ESP32, dan tampilan *Website* diharapkan dapat menjadi salah satu metode deteksi logam berat yang praktis, fleksibel, cepat dan efisien.



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Alat ukur berbasis sensor serat optik dengan *cladding* kitosan, sensor GY8511, ESP32, dan tampilan *website* telah berhasil dibuat melalui proses perancangan dan pembuatan alat ukur, pembuatan sensor serat optik, pengambilan data, dan karakterisasi. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa alat ukur berbasis sensor serat optik dengan *cladding* terkelupas 1 cm memiliki sensitivitas  $-0.1151$  V/ppm dan linearitas  $R^2 = 0.9594$ , sedangkan dengan *cladding* terkelupas 2 cm memiliki sensitivitas  $-0.086$  V/ppm dan nilai linearitas  $R^2 = 0.9881$ .

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa kekurangan pada alat ukur berbasis sensor serat optik yang perlu diperbaiki dalam penelitian selanjutnya. Berikut adalah rekomendasi peneliti untuk penelitian yang dapat dilakukan berikutnya.

1. Penelitian selanjutnya diharapkan untuk memberikan penyangga untuk sumber cahaya agar memudahkan pengambilan data.
2. Sebaiknya catu daya menggunakan baterai atau power bank untuk meningkatkan portabilitas dan efisiensi.

3. Disarankan untuk menambah variasi panjang pengelupasan serat optik guna melihat perbedaan yang dihasilkan dari berbagai panjang pengelupasan.
4. Disarankan untuk melakukan pengujian alat ukur dalam kondisi pengukuran statis, seperti pengujian akurasi dan presisi, serta dalam kondisi pengukuran dinamis, seperti pengujian waktu respons.
5. Disarankan untuk melakukan pengujian alat ukur dalam kondisi pengukuran statis, seperti pengujian akurasi dan presisi, serta dalam kondisi pengukuran dinamis, seperti pengujian waktu respons.
6. Pengembangan alat ukur konsentrasi larutan ZnO berbasis sensor serat optik dengan cladding kitosan dapat diintegrasikan dengan dukungan server website untuk memfasilitasi pemantauan dan analisis data secara realtime.
7. Disarankan untuk melakukan pengujian sensor serat optik dengan satu kali pengelupasan cladding yang sama. Uji konsentrasi ZnO pada level 2 ppm, 4 ppm, 6 ppm, 8 ppm, dan 10 ppm dilakukan menggunakan serat optik yang sama.
8. Disarankan alat ukur dalam kondisi pengukuran statis, seperti pengujian akurasi dan presisi, serta dalam kondisi pengukuran dinamis, seperti pengujian waktu respons.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Mutolib, A. M. 2023. Perancangan alat ukur Aplikasi Amal Masjid Online Menggunakan Metode Extreme Programming Berbasis Mobile Di Masjid. OKTAL: Jurnal Ilmu Komputer dan Science **Vol. 2 No. 1, Hal. 39–50.**
- Agusnar, Harry. 2006. Penggunaan Kitosan Dari Tulang Rawan Cumi-Cumi (*Loligo pealeii*) Untuk Menurunkan Kadar Ion Logam Cd Dengan Menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom. *Jurnal USU*, **Vol. 11, No. 1 Hal. 15-20**
- Amin, M. 2015. Penentuan Kadar Logam Timbal (Pb) dalam Minuman Ringan Berkarbonasi Menggunakan Destruksi Basah Secara Spektroskopi Serapan Atom. *Journal of Chemical Information and Modeling*, **Hal. 1–85.**
- Ananto, Bayu. 2011. *Simulasi Perambatan Cahaya Pada Serat Optik*. Semarang : Universitas Diponegoro
- Bagja, R. A. B. 2022. Aplikasi Pemesanan Barang di Nancy Toys Menggunakan Aplikasi Web. *MEANS (Media Informasi Analisa Dan Sistem)*, **Vol. 7 No. 1, Hal. 42–47.**
- Beegam, A., Prasad, P., Jose, J., Oliveira, M., Costa, F. G., Soares, A. M. V. M., Gonçalves, P. P., Trindade, T., Kalarikkal, N., Thomas, S., Pereira, M. de L. 2016. Environmental Fate of Zinc Oxide Nanoparticles: Risks and Benefits. *Toxicology - New Aspects to This Scientific Conundrum*.
- Bolton, W. 2015. Input / Output Devices. *Programmable Logic Controllers*, **Hal. 23–61.** doi:10.1016/b978-0-12-802929-9.00002-9
- Boymau, Irene. 2023. Distribusi Logam Berat pada Tanah. *Jurnal Ilmiah Multidisiplin* **Vol.2, No.3 Hal. 927-932**
- Brin.go.id. Penggunaan Spektrofotometer SHIMADZU UV-1800 UV-VIS Spectrophotometer DI Lab. Bioindustri Laut Lombok. Diakses pada 4 Agustus 2023 dari <https://elsa.brin.go.id/>
- Cakir, S. 2015. *Series Solutions in Step-Index Fibers*. Turki: Bogazici University Press
- DQLAB. 2022. Pahami Sistem Operasi SQL dengan 5 Perintah Dasarnya. Diakses 26 Juli 2023 dari <https://dqlab.id/pahami-sistem-operasi-sql-dengan-5-perintah-dasarnya>

- Fan, L., dan Bao, Y. 2021. Review of fiber optic sensors for corrosion monitoring in reinforced concrete. *Cement and Concrete Composites*, **Vol. 120**
- Fiona, F., Sa'diyah, H., dan Yunus, M. 2022. Serat Optik Sebagai Sensor Deteksi Denyut Nadi: Review Artikel. *Jurnal Edu Research*, **Vol. 11 Vol. (2), Hal. 33–37.**
- Firdaus, M. L. 2013. Studi perbandingan berbagai adsorben sintetis dan alami untuk mengikat logam berat. *Seminar Nasional Pendidikan Sains*, **Hal. 1–7.**
- Gholamzadeh, Bahareh & Nabovati, Hooman. 2008. Fiber Optic Sensors. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electronics and Communication Engineering* Vol. 2, No. 6
- Herlin, H. S., Harmadi, Febrielviyanti, dan Muldarisnur. 2020. Applications of fiber optic sensor for monitoring and early warning of soil shift on iot-based system. *International Journal on Informatics Visualization*, **Vol. 4 No. 3, Hal. 117–122.**
- Hidayanti, F. 2018. *Fenomena Gelombang Dan Optik : Teknologi Fiber Optik*. Semarang: Lp\_Unas
- Hinds, Laura., O'Donnel., Akhter Mahbub., Tiwari. Principles and Mechanisms of Ultra Violet Light Emitting Diode Technology For Food Industry Applications. 2019. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, Vol. 56
- Idiawati, T. H. L. D. N. 2018. Perbandingan Pengompleks Kalium Tiosianat Dan 1,10 Fenantrolin Pada Penentuan Kadar Besi Dengan Spektrofotometer Uv-Vis. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, **Vol. 7 No. 2, Hal. 47–53.**
- Iqbal, Muhammad. 2021. NodeMCU. Diakses 23 Juli 2023 dari <https://miqbal.staff.telkomuniversity.ac.id/nodemcu/>
- Irawan, T. 2018. Optik *Evanescent* dengan *Cladding* Gelatin Tulang Sapi Menggunakan Transmisi Ethernet Shield. *Jurnal Fisika Unmand*, **Vol. 7 No. 4. Hal.359-366**
- Irawan, T., dan Harmadi. 2018. Rancang Bangun Alat Ukur Kelembaban Udara Berbasis Sensor Serat Optik *Evanescent* dengan *Cladding* Gelatin Tulang Sapi Menggunakan *Transmisi Ethernet Shield*. *Jurnal Unand*, **Vol. 7, No. 4, Hal. 359-366**
- Irhamni, Pandia, S., Purba, E., & Hasan, W. 2017. Serapan Logam Berat Esensial dan Non-esensial pada Air Lindi TPA Kota Banda Aceh. *Serambi Engineering*, **Vol. 2 No. 3, Hal. 134–140.**

- Jazuli. 2021. *Point to Point*. Diakses 25 Juli 2023 dari <https://www.tutorfiber.com/2021/06/point-to-point.html>
- Kaiser G. (2010). *Optical\_Fiber\_Communication\_By\_Gerd\_Keiser*. In *Optical Fiber Communication*. United States : The McGraw-Hill Companies
- Kamal, Mahanin Tyas, U., dan Apri Buckhari, A., 2023. Implementasi Aplikasi Arduino Ide Pada Mata Kuliah Sistem Digital. *TEKNOS: Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi*, **Vol. 1 No. 1, Hal. 1–9**.
- Kamal; Firdayanti; Tyas, Mahanin; Buckhari, Andi Apri; dan Pattasang. 2023. Implementasi Aplikasi Arduino IDE pada Mata Kuliah Sistem Digital. *Jurnal Pendidikan dan Teknologi*, **Vol. 1 No. 1 Hal. 1 - 10**
- Kanigoro, Bayu. 2018. *Kabel Fiber Optic*. Diakses 1 Agustus 2023 dari <https://socs.binus.ac.id/2018/12/06/kabel-fiber-optic/>
- Kopitzke, S., & Geissinger, P. 2014. An optical fiber-based sensor array for the monitoring of zinc and copper ions in aqueous environments. *Sensors (Switzerland)*, **Vol. 14 No. 2 Hal. 3077–3094**.
- Maddu, A., Modjahidin, K., Sardy, S., dan Zain, H. 2010. Pengembangan Probe Sensor Kelembaban Serat Optik Dengan *Cladding* Gelatin. *MAKARA of Technology Series*, , **Vol. 10 No. 1, Hal. 45–50**.
- Malaikozhundan, B. 2018. Pharmaceutical Applications of Zinc Oxide Nanoparticles-A Review. *Acta Scientific Pharmaceutical Sciences*, **Vol. 2 No. 1 Hal.1–2**.
- Moezzi, A., McDonagh, A. M., & Cortie, M. B. 2012. Zinc oxide particles: Synthesis, properties and applications. *Chemical Engineering Journal*, **No.185 Hal.1–22**.
- Mohamad, S., & Mohd Kamal, S. N. R. 2013. Study on inclusion complex of  $\beta$ -cyclodextrin-dithizone-zinc ( $\beta$ -CD-H<sub>2</sub>Dz-Zn) by spectrophotometry and its analytical application. *Asian Journal of Chemistry*, **Vol. 25 No. 4, Hal. 1965–1969**.
- Nizam, M. N., Haris Yuana, dan Zunita Wulansari. 2022. Mikrokontroler ESP32 Sebagai Alat Monitoring Pintu Berbasis Web. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, **Vol. 6 No. 2, Hal. 767–772**.
- Novendri. 2019. Pengertian Web. *Lentera Dumai*, **Vol. 10 No. (2), Hal. 46–57**.
- Nugraha, A., & Ramadhan, M. N. 2018. Pengukuran Teknik Dan Instrumentasi. Banjarmasin : Universitas Lambung Mangkurat.

- Onorato, P., Gratton, L. M., Polesello, M., Salmoiraghi, A., & Oss, S. 2018. The Beer Lambert law measurement made easy. *Physics Education*, Vol. 5 No. 3 Hal. 3.
- Pellis, A., Guebitz, G. M., dan Nyanhongo, G. S. 2022. Chitosan: Sources, Processing and Modification Techniques. *Gels*, Vol. 8 No. 7, Hal. 5–25.
- Permenkes. 2010. Permenkes No. 492 tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. In <https://Www.Kesehatanlingkungan.Com/2019/01/Permenkes-492-Tahun-2010-Persyaratan.Html> (pp. 1–9). Permenkes No. 492 tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum
- Piersanti, S., Cecchetti, R., Olivieri, C., de Paulis, F., Orlandi, A., dan Buecker, M. 2019. Decoupling capacitors placement at board level adopting a nature-inspired algorithm. *Electronics (Switzerland)*, Vol. 8 Hal. 7.
- Plum, L. M., Rink, L., dan Hajo, H. 2010. The essential toxin: Impact of zinc on human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 7 No. 4, Hal.1342–1365.
- Plum, L. M., Rink, L., dan Hajo, H. 2010. The essential toxin: Impact of zinc on human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 7 No. 4, Hal. 1342–1365.
- Putra, H., dan Yulkifli, Y. 2019. Studi Awal Rancang Bangun Colorimeter Menggunakan Sensor GY8511 Berbasis Sistem Android Dengan Display Smartphone. *Komunikasi Fisika Indonesia*, Vol. 16 No. 2, Hal 155.
- Putra, H., dan Yulkifli, Y. 2019. Studi Awal Rancang Bangun Colorimeter Menggunakan Sensor GY8511 Berbasis Sistem Android Dengan Display Smartphone. *Komunikasi Fisika Indonesia*, Vol. 16 No. 2, Hal. 155.
- Rahayu, A., dan Harmadi, H. 2020. Rancang Bangun Alat Ukur Konsentrasi Logam Berat Timbal Berbasis Sensor Serat Optik *Evanescent* dengan *Cladding* Kitosan. *Jurnal Fisika Unand*, Vol. 9 No. 1, Hal. 17–23.
- Rahmayani, R., Sahara, dan Zelviani, S. 2020. Pengukuran Dan Analisis Dosis Proteksi Radiasi Sinar-X Di Unit Radiologi Rs. Ibnu Sina Yw-Umi. *Jurnal fisika dan terapannya*, Vol. 7 Hal. 87–96.
- Rambe, Mulia Ahmad. 2006. *Penggunaan Serat Optik Plastik sebagai Media Transmisi untuk Alat Ukur Temperatur Jarak Jauh*. Sumatera Utara : Universitas Sumatera Utara
- Rusmadi, D. 2009. *Mengenal Komponen Elektronika*. Bandung: Penerbit Pionir Jaya.

- Saha, Rony. 2016. *Telecommunications Engineering*. Bangkok: Asian Institute of Technology
- Saleh dan Teich. 2019. *Fundamentals of Photonics*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Sarwono, R. 2010. Pemanfaatan Kitin / Kitosan Sebagai Bahan Anti Mikroba. *Komunikasi Singkat*, **Vol. 12 Hal. 32-38**
- Saydam, Gouzali., BC.TT, "Prinsip Dasar Teknologi Jaringan Telekomunikasi", Angkasa, Bandung, 1997
- Senior, John N. 2009. *Optical Fiber Communications Principles and Practice*. New Jersey: Prentice Hall
- Sowri Babu, K., Ramachandra Reddy, A., Sujatha, C., Venugopal Reddy, K., Mallika, A. N. 2013. Synthesis and optical characterization of porous ZnO. *Journal of Advanced Ceramics*, **Vol. 2 No. 3 Hal.260–265**.
- Sundari, D., dan Harmadi, H. 2022. Rancang Bangun Alat Ukur Konsentrasi Mikroplastik dengan *Cladding* Gelatin berbasis Sensor Serat Optik dan Mikrokontroler. *Jurnal Fisika Unand*, **Vol. 11 No. (3), Hal.408–413**.
- Sundari, D., dan Harmadi, H. 2022. Rancang Bangun Alat Ukur Konsentrasi Mikroplastik dengan *Cladding* Gelatin berbasis Sensor Serat Optik dan Mikrokontroler. *Jurnal Fisika Unand*, **Vol. 11 No. 3, Hal. 408–413**.
- Supriyanto. 2015. LED (*LIGHT EMITTING DIODE*) . Diakses 24 Juli 2023 dari <https://blog.unnes.ac.id/antosupri/led-light-emitting-diode/>
- Tataylino. 2020. *Control Electric Fan with Nodemcu thru Wi-Fi Internet Browser*. Diakses 30 Juli 2023 dari <https://tataylino.com/control-electric-fan-with-nodemcu-web-browser/>
- Turney, Shaun. Coefficient of Determination ( $R^2$ ) | Calculation & Interpretation. Diakses pada 25 Juli 2024, dari <https://www.scribbr.com/statistics/coefficient-of-determination/>
- Udd, E. 2011. *Fiber Optic Sensors: An Introduction for Engineers and Scientists, Second Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc
- Wang, Z., Zhang, B., & Zhang, X. 2018. *The Toxic Effects of Nanometer Zinc Oxide on Aquatic Organisms (A review)*. **Hal.1730–1736**.
- Warni, D., Karina, S., dan Nurfadillah, N.,2017. ANALISIS LOGAM Pb, Mn, Cu, dan Cd PADA SEDIMEN DI PELABUHAN JETTY MEULABOH, ACEH



- BARAT Analysis of Heavy Metal Pb, Mn, Cu and Cd on Sediment at Jetty Port Meulaboh, Aceh Barat. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kelautan Dan Perikanan Unsyiah*, **Vol. 2 No. 2**, Hal. 246–253.
- Wu, N., Zou, X., Zhou, J., dan Wang, X. 2016. Fiber optic ultrasound transmitters and their applications. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, **Vol. 79**, Hal. 164–171. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.10.002>
- Yasin, Moh. 2016. Pengembangan Teknologi Sensor Serat Optik Untuk Menuju Kemandirian Bangsa. Surabaya : Universitas Airlangga Sumatera Utara : Universitas Sumatera Utara
- Yudo, Satmoko. 2006. Kondisi Pencemaran Logam Berat di Perairan Sungai DKI Jakarta. *Jurnal Air Indonesia* **Vol.2 No. 1** Hal. 1-15
- Yulianingsih, E., Panjaitan, F., Fatmasari, Yudiastuti, H., dan Oktarini, N. A. 2022. Introduction and Training of *Database* Systems for Vocational High School Students in Palembang City. *Jurnal Pengabdian Pancasila (JPP)*, **Vol. 1 No. 2**, Hal. 69–76.
- Yulianti, I., E, S. S., Saputra, B. A., dan Yulia, S. 2015. Karakterisasi Serat Optik Berlapis KITOSAN Untuk Deteksi Ion Logam Kadmium. *Jurnal Fisika Unnes*, **Vol. 5 No. 2**.
- Zare, M., Namratha, K., Alghamdi, S., Mohammad, Y. H. E., Hezam, A., Zare, M., Drmosh, Q. A., Byrappa, K., Chandrashekar, B. N., Ramakrishna, S., Zhang, X. 2019. Novel Green Biomimetic Approach for Synthesis of ZnO-Ag Nanocomposite; Antimicrobial Activity against Food-borne Pathogen, Biocompatibility and Solar Photocatalysis. *Scientific Reports*, **Vol. 9 No. 1**.
- Zeng, W., dan Gao, H. 2014. Optic Fiber *Sensing* IOT Technology and Application Research. *Sensors & Transducers*, **Vol. 180 No. 10**, Hal. 16–21.