

RANCANG BANGUN ALAT PENGUKURAN *BIOLOGICAL OXYGEN DEMAND* (BOD) PADA LIMBAH CAIR MENGGUNAKAN SENSOR MPX2200A BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IOT)

(Skripsi)

Oleh

RAPLI SOPIAN SONUS

NPM. 1917041071



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

RANCANG BANGUN ALAT PENGUKURAN BIOLOGICAL OXYGEN DEMAND (BOD) PADA LIMBAH CAIR MENGGUNAKAN SENSOR MPX2200A BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)

Oleh

Rapli Sopian Sonus

Penelitian ini bertujuan untuk memonitoring nilai pengukuran *Biological Oxygen Demand* (BOD) pada Limbah Cair menggunakan sensor MPX2200A berbasis Internet of Things (IoT) dengan tampilan *website* (Grafana). Alat ini menggunakan sensor MPX2200A untuk mengukur tekanan diatas permukaan air, dilengkapi *microcomputer* Raspberry Pi 4 dengan koneksi jaringan Wi-Fi, untuk mengumpulkan, memproses data hingga dikirimkan ke Influxdb sebagai database time-series dan menggunakan *website* (Grafana) sebagai visualisasi untuk mempermudah dalam pembacaan data. Alat yang telah dirancang dengan menggunakan sensor MPX2200A sebagai output dari keluaran data BOD yang diperoleh yaitu masih dalam sinyal analog sehingga dibutuhkan modul ADS1115 untuk mengkonversi keluaran sinyal analog menjadi data digital. Alat ini telah terealisasi dan mampu membaca nilai data BOD, dan sensor MPX2200A didapatkan hasil nilai rata-rata akurasi yaitu 99,98% dan nilai rata-rata *error* yaitu 0,02%. Alat yang telah dirancang (MPX2200A) dengan berbasis IoT sehingga dapat memudahkan para peneliti di lab uji dalam memonitoring uji BOD hanya dengan melihat tampilan di monitor (Grafana) tanpa perlu meninjau berulang-ulang ke lab uji.

Kata kunci : *Biological Oxygen Demand* (BOD), MPX2200A, Data BOD

ABSTRACT

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A BIOLOGICAL OXYGEN DEMAND (BOD) MEASUREMENT DEVICE FOR LIQUID WASTE USING THE MPX2200A SENSOR BASED ON THE INTERNET OF THINGS (IOT)

By

Rapli Sopian Sonus

This research aims to monitor the measurement of Biological Oxygen Demand (BOD) in liquid waste using the MPX2200A sensor based on the Internet of Things (IoT) with a website display (Grafana). The device uses the MPX2200A sensor to measure the pressure above the water surface, and is equipped with a Raspberry Pi 4 microcomputer with a Wi-Fi network connection to collect, process data, and send it to InfluxDB as a time-series database. The website (Grafana) is used for visualization to simplify data interpretation. The device is designed with the MPX2200A sensor, which outputs analog BOD data. Therefore, the ADS1115 module is required to convert the analog signal into digital data. The device has been successfully implemented and is able to read BOD data values, with the MPX2200A sensor providing an average accuracy of 99.98% and an average error value of 0.02%. The IoT-based device makes it easier for researchers in testing laboratories to monitor BOD tests by simply viewing the display on a monitor (Grafana) without the need for repeated visits to the lab.

Keywords : Biological Oxygen Demand (BOD), MPX2200A, BOD data

RANCANG BANGUN ALAT PENGUKURAN *BIOLOGICAL OXYGEN DEMAND* (BOD) PADA LIMBAH CAIR MENGGUNAKAN SENSOR MPX2200A BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IOT)

Oleh

RAPLI SOPIAN SONUS

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
Sarjana Sains**

Pada

Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

Judul Laporan : "Rancang Bangun Alat Pengukuran *Biological Oxygen Demand* (BOD) Pada Limbah Cair Menggunakan Sensor MPX2200A Berbasis *Internet of Things* (IOT)"

Nama Mahasiswa : Rapi Sopian Sonus

Nama Pokok Mahasiswa : 1917041071

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Bandar Lampung, 13 Februari 2025

MENYETUJUI,
1. Komisi Pembimbing

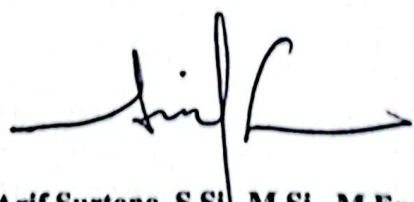


Drs. Amr Supriyanto, M.Si.
NIP.196504071991111001



Dr. Sri Wahyu Suciati, S.Si., M.Si.
NIP.197108291997032001

2. Ketua Jurusan Fisika



Arif Surtano, S.Si., M.Si., M.Eng.
NIP. 197109092000121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Drs. Amir Suprianto, M.Si.



Sekretaris

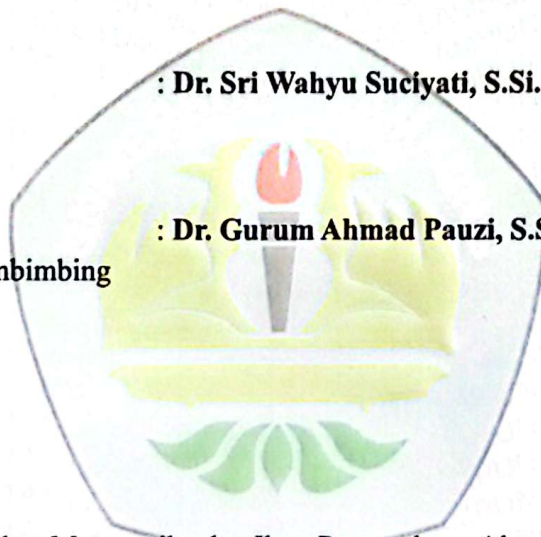
: Dr. Sri Wahyu Suciwati, S.Si., M.Si.



Penguji

Bukan Pembimbing

: Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.

NIP.197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 13 Februari 2025

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila ada pernyataan saya yang tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai hukuman yang berlaku.

Bandar Lampung, 13 Februari 2025

Penulis,



Rapli Sopian Sonus
NPM. 1917041071

RIWAYAT HIDUP



Penulis skripsi ini bernama Rapli Sopian Sonus, lahir di Natar, Lampung Selatan pada tanggal 5 Juli 2002. Penulis ini merupakan anak kedua dari 4 bersaudara dari pasangan Bapak Sodri dan Ibu Nurbaiti. Penulis menyelesaikan pendidikan di SDN 01 Natar tahun 2013, SMPN 1 Natar tahun 2016 dan SMAS YP Unila tahun 2019. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN tahun 2019 dan mengambil konsentrasi dalam bidang Instrumen Fisika. Selama menempuh pendidikan di Universitas Lampung, penulis aktif tergabung pada organisasi Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) sebagai Ketua bidang minat dan bakat periode 2020-2021.

Penulis telah melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri (BSPJI) Bandar Lampung pada tahun 2022. Penulis melakukan pengabdian terhadap masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) tahun 2022 di desa Sukanegeri Jaya, Kecamatan Talang Padang, Kabupaten Tanggamus. Penulis telah menyelesaikan penelitian skripsi di Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri (BSPJI) dengan Judul

“Rancang Bangun Alat Pengukuran *Biological Oxygen Demand* (BOD) Pada Limbah Cair Menggunakan Sensor MPX2200A Berbasis *Internet of Things* (IOT)”

MOTTO

*“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, sesungguhnya
sesudah kesulitan itu ada kemudahan”*

-QS Al Insyirah Ayat 5-6

*“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan
Kesanggupannya”*

-QS Al Baqarah : 286



PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan alhamdulillahilahirabbil'alamin, saya persembahkan karya ini kepada:

Kedua Orang Tua (Bapak Sodri dan Ibu Nurbaiti)

Terimakasih untuk semua yang kalian lakukan, baik do'a, dukungan, perjuangan dan kehangatan yang membuat aku mampu menghadapi semua permasalahan dan menyelesaikan Pendidikan S1

Bapak-Ibu Guru

Terimakasih atas segala ilmu pengetahuan dan budi pekerti yang telah membuka wawasan dan pengalamanku

Sahabat dan Teman Seperjuangan

Terimakasih atas segala kebaikan, dan kebersamaan kalian selama ini

Almamaterku Tercinta
"Universitas Lampung"

Kata Pengantar

Puji Syukur kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan Rahmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan kuliah serta skripsi yang berjudul **“Rancang Bangun Alat Pengukuran *Biological Oxygen Demand* (BOD) Pada Limbah Cair Menggunakan Sensor MPX2200A Berbasis *Internet of Things* (IOT)”**. Tujuan penulisan skripsi ini yaitu sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar S1 Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung serta melatih berpikir cerdas dan kreatif dalam menulis karya ilmiah.

Penulis menyadari adanya kekurangan dalam penelitian maupun penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, adanya kritik dan saran dari pembaca sangat diharapkan untuk memperbaiki kekurangan tersebut. Semoga skripsi ini dapat menambah wawasan literasi keilmuan serta rujukan untuk mengembangkan riset selanjutnya yang lebih baik. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi sesama.

Bandar Lampung, 13 Februari 2025

Penulis,

Rapli Sopian Sonus

SANWACANA

Segala puja dan puji atas rasa syukur penulis panjatkan ke khadirat Allah SWT yang telah memberikan nikmat iman, sehat, dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis. Sehingga, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Rancang Bangun Alat Pengukuran *Biological Oxygen Demand* (BOD) Pada Limbah Cair Menggunakan Sensor MPX2200A Berbasis *Internet of Things* (IOT)”**. Dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Sehingga, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Drs. Amir Supriyanto, M.Si. sebagai dosen pembimbing pertama yang telah banyak memberikan saran dan kritik yang membangun selama pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi ini hingga selesai.
2. Ibu Dr. Sri Wahyu Suciwati, S.Si., M.Si. sebagai dosen pembimbing kedua yang selalu memberikan saran dan masukan selama proses penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. sebagai dosen penguji yang telah memberikan koreksi, kritik serta saran yang membangun selama penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Kasman, SST. selaku pembimbing selama menjalani penelitian di Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri (BSPJI) Bandar Lampung.
5. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc. Selaku Pembimbing Akademik yang telah memberikan nasihat dan motivasi selama kuliah hingga dengan selesai.
6. Para dosen serta staff di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
7. Kedua Orang Tua penulis, Bapak Sodri dan Ibu Nurbaiti yang telah memberikan perhatian, doa, nasihat, dan dukungan kepada penulis selama menjalani kuliah di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.

8. Adik saya yang telah memberikan semangat, dukungan, dan doanya selama penulis menjalani perkuliahan di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung
9. Putra Riski Utama, Asrizal, Gilang Ramadhan, Rizky Ponco Rahmadi, Nabila Chaniago, Eka fadhilah Irawan selaku sahabat penulis yang telah memberikan doa dan dukungan kepada penulis selama menjalani perkuliahan.
10. Teman-teman satu perjuangan Fisika angkatan 2019, keluarga besar Himafi FMIPA Unila, yang telah bersama-sama dengan penulis dalam menjalani perkuliahan dan telah memberikan doa serta motivasi pembelajaran kehidupan kepada penulis agar bisa menjalani kehidupan yang akan datang.

Semoga Allah SWT senantiasa memberikan balasan atas segala kebaikan yang telah dilakukan oleh semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Bandar Lampung, 13 Februari 2025
Penulis,

Rapli Sopian Sonus

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
PERNYATAAN.....	vi
RIWAYAT HIDUP.....	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	x
SANWACANA.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
 I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah	5
 II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terkait	6
2.2 <i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD)	8
2.3 MPX2200A	15
2.4 ADS1115	18

2.5 Raspberry Pi 4	20
2.6 <i>Internet of Things</i> (IoT).....	26
2.6.1 Grafana	28

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	31
3.3 Metode Penelitian	33
3.3.1 Perancangan Desain Alat	35
3.3.2 Perancangan Perangkat Keras	35
3.3.3 Perancangan Perangkat Lunak.....	36
3.3.4 Karakterisasi Sensor	37
3.3.5 Pembuatan Alat	38
3.3.6 Pengambilan Analisis Data	39

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	41
4.1.1 Kalibrasi Sensor	42
4.2 Perangkat Lunak (<i>Software</i>) Sistem Monitoring	46
4.2.1 Penyimpanan dan Pengelolaan Server	48
4.2.1.1 Pengiriman Data Sensor ke Server Database	49
4.2.1.2 Visualisasi Data Sensor ke Dashboard Monitoring	49
4.3 Pengujian Alat dan Web Sistem Monitoring.....	50
4.3.1 Evaluasi Perbandingan Alat Monitoring dan Konvensional	50
4.4 Pengambilan Data dan Monitoring BOD.....	52
4.4.1 Pengambilan Data BOD (0-5 Hari).....	53

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan	58
5.2 Saran	58

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Lovibond Oxidirect</i>	10
Gambar 2.2 Skematik Diagram Sensor	16
Gambar 2.3 Sensor Tekanan MPX2200A	17
Gambar 2.4 Blok Rangkaian ADS1115	19
Gambar 2.5 Modul ADS1115	19
Gambar 2.6 Raspberry Pi 4	21
Gambar 2.7 Spesifikasi Raspberry Pi 4	21
Gambar 2.8 Raspberry Pi	23
Gambar 2.9 Tata letak pin pada Raspberry Pi 4	25
Gambar 2.10 Konsep Kerja IoT	28
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	33
Gambar 3.2 Desain Alat	34
Gambar 3.3 Diagram Blok Perancangan Sistem	35
Gambar 3.4 Diagram Alir Perancangan Perangkat Lunak	36
Gambar 3.5 Skema Rangkaian Alat	37
Gambar 3.6 Perolehan Nilai BOD selama 5 hari	39
Gambar 4.1 Realisasi Alat Pengukuran BOD.....	40
Gambar 4.2 Tampilan Samping Alat Pengukuran BOD.....	41
Gambar 4.3 Pengambilan Data Kalibrasi	44
Gambar 4.4 Grafik Kalibrasi Sensor MPX2200A.....	46
Gambar 4.5 Tampilan Depan (Login) Menggunakan Handphone	47
Gambar 4.6 Tampilan Visual Monitoring Data BOD.....	47
Gambar 4.7 Pengujian Sistem Monitoring BOD pada Website.....	50
Gambar 4.8 <i>Lovibond Oxydirect</i>	51
Gambar 4.9 Ruang Penelitian pada saat Pengambilan Data.....	53
Gambar 4.10 Tampilan Visual pada saat Pengambilan Data	53

Gambar 4.11	Pengambilan Data di Laboratorium BSPJI Bandar Lampung	54
Gambar 4.12	Grafik Hasil Pengujian BOD pada Limbah Cair Tapioka	55
Gambar 4.13	Grafik Hasil Pengujian BOD pada Limbah Cair Domestik.....	56

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sampel volume range dari Lovibond Oxidirect.....	9
Tabel 2.2 Baku Mutu Air Limbah Domestik	13
Tabel 2.3 Baku Mutu Air Limbah Tapioka.....	14
Tabel 2.4 Pin-pin Sensor Tekanan MPX2200A	17
Tabel 2.5 Sensivitas macam-macam sensor tekanan	18
Tabel 2.6 Deskripsi pin ADS1115	20
Tabel 2.7 Deskripsi pin Rapberry Pi 4	25
Tabel 3.1 Jadwal kegiatan penelitian	31
Tabel 3.2 Alat yang digunakan	32
Tabel 3.3 Bahan yang digunakan	32
Tabel 3.4 Perangkat Lunak yang digunakan	32
Tabel 3.5 Pengujian dan kalibrasi sensor MPX2200A	37
Tabel 3.6 Data Pengujian BOD	39
Tabel 4.1 Data Kalibrasi Sensor MPX2200A.....	45
Tabel 4.1 Data Pengujian BOD Menggunakan Limbah Cair Tapioka	51
Tabel 4.2 Data Pengujian BOD Menggunakan Limbah Cair Domestik.....	52

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu masalah serius yang dihadapi Indonesia adalah pencemaran air, dan sebagian besar disebabkan oleh limbah industri. Selain dari sektor industri, polusi air juga berasal dari sektor lain seperti pertambangan, pertanian, dan rumah tangga. Dalam hal ini menyebabkan penurunan kualitas air di perairan sungai yang seharusnya menjadi salah satu sumber utama air yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Dengan lebih jelasnya, Indonesia mengalami masalah serius terkait pencemaran air, sehingga dampak buruk dari pencemaran air ini adalah penurunan kualitas air yang seharusnya bermanfaat bagi manusia. (Machdar, 2018).

Menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2021, sebanyak 10.683 desa dan kelurahan yang menghadapi masalah pencemaran air. Pencemaran air paling banyak terjadi di Jawa Tengah, terdapat 1.310 desa dan kelurahan yang terdampak. Selain itu, Jawa Barat juga mengalami dampak serius dengan 1.217 desa dan kelurahan terkena dampak, lalu di Jawa Timur terdapat 1.152 desa dan kelurahan yang menghadapi masalah serupa. Selain itu, Sumatera Utara tercatat memiliki 673 desa dan kelurahan terkena dampak, serta Sumatera Selatan dengan 440 desa dan kelurahan terdampak masalah pencemaran air. BPS juga mencatat bahwa sekitar 6.160 desa dan kelurahan terkena dampak pencemaran air yang disebabkan oleh limbah rumah tangga, sementara 4.496 desa dan kelurahan lainnya terkena dampak pencemaran dari limbah pabrik (Dihni, 2022).

Keberadaan sumber air, baik dalam kuantitas maupun kualitas, perlu dijaga dengan sungguh-sungguh karena air memiliki peranan yang sangat penting bagi masyarakat dan makhluk hidup lainnya. Namun, menurut data yang dikumpulkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia pada tahun 2014, sebanyak 75% sungai di Indonesia mengalami pencemaran berat akibat pembuangan limbah rumah tangga. Oleh karena itu, masalah ini terjadi karena sistem pembuangan limbah yang kurang efektif, seperti Saluran Pembuangan Air Limbah (SPAL), Instalasi Pengelolaan Air Limbah (IPAL), serta minimnya kepemilikan jamban di sekitar daerah sungai. Kondisi ini berdampak pada menurunnya kualitas air sungai. Penurunan kualitas air ini merupakan hasil dari aktivitas manusia yang kurang memperhatikan lingkungan sekitarnya (Dawud *et al.*, 2016).

Dalam aktivitas industri yang terus berjalan akan memberikan produk yang dapat memenuhi kebutuhan hidup manusia, namun dalam aktivitas produksi tersebut terdapat bahan buangan yang disebut limbah, dimana limbah tersebut harus dilakukan treatment terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan, sehingga perlu adanya setiap industri memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Pengolahan air limbah yang dihasilkan oleh suatu proses industri untuk menurunkan kadar polutan yang ada pada limbah sehingga aman bagi lingkungan (Alpha *et al.*, 2013).

Berkembangnya industri berkontribusi pada peningkatan pencemaran, dengan demikian setiap industri perlu memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), IPAL adalah sistem pengolahan air limbah domestik maupun industri yang baik sebelum air tersebut dibuang langsung ke lingkungan. Jika tidak melalui tahap tersebut, maka dapat mencemari air dan tanah disekitarnya. Optimalisasi dilakukan agar meminimalisir resiko masalah yang terjadi sehingga IPAL tersebut beroperasi dengan baik. Dengan begitu, air yang telah diolah dapat digunakan kembali untuk berbagai keperluan. (Kholif, 2020).

Biological Oxygen Demand (BOD) salah satu parameter penting yang digunakan untuk mengukur kualitas air, dan masih diperlukan sebagai parameter dalam menetapkan baku mutu air limbah. Kadar BOD menjadi tolak ukur terjadinya pencemaran suatu perairan, sehingga analisis kandungan BOD dalam suatu perairan menjadi penting untuk menelusuri adanya pencemaran. Dalam hal ini dapat membantu menentukan pencemaran akibat air buangan dan merancang sistem pembuangan secara biologis bagi air tercemar tersebut (Putra & Yulia, 2019).

Dalam analisis BOD konvensional memiliki pengulangan rendah dan tahap proses penyelesaian yang panjang. Selain itu, prosesnya yang membutuhkan waktu, yaitu memakan waktu lima hari yang melibatkan tindakan berulang-ulang untuk melakukan pengujian secara teratur (Rame & Purwanto, 2021).

Terdapat penelitian terdahulu berkaitan dengan monitoring yang dilakukan oleh Junando *et al* (2019) telah membuat alat sistem monitoring kualitas air di Sungai Citarum secara *real-time* dengan penggunaan sistem telemetri dilakukan melalui *Information Dashboard*, solusi untuk menangani permasalahan tersebut yaitu dengan pembuatan *website* untuk pemantauan dan mengetahui secara *real-time* kadar kualitas air di Sungai Citarum. Sehingga dengan adanya *Information Dashboard* diharapkan dapat memudahkan seluruh *stakeholder* untuk memantau dan melihat kualitas air di Sungai Citarum secara *real-time* melalui *website*. Dengan adanya *website* ini diharapkan dapat dengan mudah diakses secara bebas dengan terhubungnya melalui jaringan *internet*.

Terdapat penelitian terdahulu untuk pemantauan kualitas air dalam pengolahan air limbah dilakukan oleh Rame & Purwanto (2021) telah membuat alat sistem monitoring analisis BOD dan peringatan dini berbasis biosensor untuk pemantauan kualitas air dengan metode paling sederhana untuk mengukur jumlah oksigen yang digunakan oleh mikroba selama mereka mencerna bahan organik yang dapat terurai secara biologis adalah dengan melakukan analisis BOD konvensional. Dalam metode ini, diperlukan waktu selama lima hari untuk

menyelesaikan prosesnya, dan metodenya memiliki beberapa kelemahan, seperti tingkat pengulangan yang rendah dan proses penyelesaian yang panjang, untuk mengumpulkan data.

Dalam konteks ini, *Internet of Things* (IoT) menawarkan solusi yang dapat membantu secara efisien. IoT memungkinkan dalam pengumpulan data yang kontinu dan otomatis dari berbagai sensor yang dipasang di lokasi yang berbeda. Dalam hal ini, alat yang dilengkapi dengan sensor MPX2200A dapat menjadi pilihan yang tepat untuk pengukuran BOD, sensor ini memiliki sensitivitas yang baik terhadap perubahan tekanan dalam air limbah.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memudahkan dalam mengetahui data nilai BOD dengan sistem monitoring pengukuran BOD berbasis IoT menggunakan sensor MPX2200A melalui raspberry pi 4 dan terkoneksi juga pada Influxdb sebagai database dashboard dan website (Grafana) sebagai tampilan hasil monitoring dalam bentuk visualisasi data. Dengan sistem ini, data BOD dapat diketahui secara *real-time* dan diakses melalui jaringan internet, memungkinkan pemantauan yang lebih efisien dan respons cepat.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana merancang alat dan sistem monitoring pengukuran nilai BOD berbasis *Internet of Things*?
2. Bagaimana efektivitas penggunaan alat tersebut pada pengukuran nilai BOD dalam monitoring yang dapat membantu secara efisien?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Merancang alat untuk menciptakan sistem monitoring berbasis IoT yang dapat memudahkan peneliti di laboratorium dalam memonitoring data nilai BOD.

2. Mengevaluasi efektivitas penggunaan alat tersebut untuk pengukuran nilai BOD dalam monitoring yang dapat memberikan bantuan secara efisien.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi yang lebih efisien dalam pengukuran nilai BOD dalam penggunaan IoT, yang dapat digunakan dalam berbagai konteks lainnya.
2. Mempermudah peneliti dalam memonitoring pengukuran BOD di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dengan konsep *Internet of Things* sehingga dapat meninjau jarak jauh sekalipun.
3. Mempermudah sistem ini memungkinkan pemantauan kualitas air secara kontinu dan *real-time*, menggantikan pengukuran laboratorium yang manual. Ini akan membantu dalam pemantauan yang lebih efisien.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Sensor yang digunakan pada penelitian ini adalah sensor MPX2200A, dan Modul ADS1115.
2. Penelitian sistem monitoring ini menggunakan Raspberry Pi 4.
3. Mengukur nilai BOD menggunakan sensor MPX2200A dan pembacaan datanya dilakukan dengan secara *real time*.
4. Local server untuk mengakuisisi data sensor.
5. Penelitian ini dilakukan di Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri (BSPJI) Bandar Lampung.
6. Sampel limbah cair yang digunakan adalah tapioka dan domestik (Air buangan dapur hingga kamar mandi).
7. Pengukuran *Biological Oxygen Demand* (BOD) ditujukan pada limbah cair.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian-penelitian sebelumnya. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Junando et al., 2019) telah membuat alat sistem monitoring kualitas air di Sungai Citarum secara *real-time* dengan penggunaan sistem telemetri dilakukan melalui *Information Dashboard*, solusi untuk menangani permasalahan tersebut yaitu dengan pembuatan *website* untuk pemantauan dan mengetahui secara *real-time* kadar kualitas air di Sungai Citarum. Sehingga dengan adanya *Information Dashboard* diharapkan dapat memudahkan seluruh *stakeholder* untuk memantau dan melihat kualitas air di Sungai Citarum secara *real-time* melalui *website*.

Selanjutnya, penelitian dilakukan oleh (Iswanto et al., 2023) telah merancang alat sistem pemantauan dan pengendalian prototipe pabrik pengolahan air limbah (*WWTP*) pada *IoT Free Output Channels*. Dalam penelitian ini, sebuah prototipe untuk memantau dan mengendalikan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pada saluran keluar telah dibuat. Prototipe ini berfungsi dengan mengukur berbagai parameter air limbah dan mengendalikan sistem pompa keluar berdasarkan *Internet of Things* (IoT). Ada dua mode yang tersedia dalam prototipe ini. Pertama, ada mode otomatis di mana sistem pengendalian beroperasi sesuai dengan perintah program dengan batasan target tertentu. Target tersebut mencakup pH antara 6 hingga 9. Jika nilai pengukuran air limbah sesuai dengan target, sistem akan mengaktifkan pompa keluar untuk pembuangan langsung ke lingkungan. Namun, jika nilai tidak sesuai dengan target, sistem akan mengaktifkan pompa untuk memulai proses pengolahan kembali air limbah ke dalam IPAL. Selain itu, terdapat mode manual di mana sistem pengendalian dapat

dioperasikan secara langsung oleh operator melalui aplikasi *Blynk* pada *smartphone*. Dalam mode ini, operator dapat memilih untuk mengaktifkan pompa keluar atau proses pengolahan melalui aplikasi *Blynk*. Baik dalam mode otomatis maupun manual, parameter air limbah dapat dipantau melalui *smartphone* menggunakan aplikasi *Blynk*.

Kemudian penelitian lainnya dilakukan oleh (Pratama, 2019) telah merancang alat bangun sistem kontrol dan monitoring pengolahan air limbah berbasis Raspberry Pi. Pada Penelitian ini akan dilakukan perancangan prototipe sistem kontrol dan monitoring pengolahan limbah air melalui aplikasi *smartphone* berbasis Raspberry Pi dengan memanfaatkan *water level* sensor, *turbidity* sensor dan pH sensor. Sistem kontrol dan monitoring pengolahan limbah air ini memanfaatkan *web server Thingspeak* sebagai *datasheet*. Dari hasil pengujian alat kontrol dan *monitoring* pengolahan limbah air berbasis Raspberry Pi 3 ini didapatkan hasil tingkat error pembacaan *water level* sensor terhadap objek adalah tidak lebih dari 2,2%. Untuk pengujian waktu respon notifikasi aplikasi *smartphone* adalah 4,97 untuk *turbidity* sensor dan 4,64 detik untuk pH sensor, hal ini bergantung pada kekuatan sinyal sambungan *internet*.

Kemudian penelitian lainnya dilakukan oleh (Paryanto & Subarkah, 2022) telah merancang prototipe dan evaluasi alat pemantauan air limbah industri berbasis IoT. Penelitian ini memiliki tujuan untuk merancang prototipe alat monitoring air limbah industri dengan sistem *real-time* yang kemudian akan di evaluasi. Pengujian dilakukan dengan menggunakan empat parameter yaitu suhu, pH, oksigen terlarut (DO), dan kekeruhan. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental. Penelitian dilakukan dengan menguji 5 macam sampel berbeda di dalam lab dengan menggunakan alat yang telah dibuat pada kondisi suhu awal 23 °C selama 1 jam. Penelitian ini menggunakan sistem *real-time* monitoring berbasis Arduino Nano dan *cloud* berupa *Blynk*. Dengan menggunakan sistem *real-time*, proses pengujian akan menjadi lebih efisien, cepat, dan dapat dikontrol dimanapun dan kapanpun. Hasil penelitian dianalisis dengan menggunakan standar Baku Mutu Air Limbah yang telah ditetapkan oleh

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Dari pengujian didapatkan hasil bahwa nilai DO air limbah farmasi berada jauh di bawah nilai standar. Untuk nilai pH, air limbah tekstil, limbah minuman ringan, limbah minyak goreng, dan limbah pengalengan ikan berada diatas standard yang ditentukan. Untuk nilai kekeruhan, setelah dikonversikan ke nilai TSS, air limbah farmasi dan air limbah minyak goreng berada diatas standard air limbah yang telah ditentukan.

Penelitian lainnya dilakukan oleh (Rame & Purwanto, 2021) telah membuat alat sistem monitoring analisis BOD dan peringatan dini berbasis biosensor untuk pemantauan kualitas air dengan metode paling sederhana untuk mengukur jumlah oksigen yang digunakan oleh mikroba selama mereka mencerna bahan organik yang dapat terurai secara biologis adalah dengan melakukan analisis BOD konvensional. Dalam metode ini, diperlukan waktu selama lima hari untuk menyelesaikan prosesnya, dan metodenya memiliki beberapa kelemahan, seperti tingkat pengulangan yang rendah dan proses penyelesaian yang panjang, untuk mengumpulkan data tentang biotoksitas lingkungan untuk memantau toksisitas lingkungan. Namun, karena aplikasi bakteri *luminescent* disajikan sebagai suspensi, menjadi batasan yang signifikan karena tidak dapat digunakan dalam aplikasi laboratorium untuk pemantauan kualitas air secara *online* dan *real-time*.

2.2 Biological Oxygen Demand (BOD)

Biological Oxygen Demand (BOD) adalah salah satu metode yang paling banyak digunakan untuk penilaian kualitas air. Namun, metode analisis ini memakan waktu umumnya selama 5 hari (BOD-5), dan hasilnya bervariasi hal ini dikarenakan terutama karena naik turunnya keragaman inokulum mikroba yang digunakan. BOD-5 memiliki tiga aplikasi utama yakni:

1. Indikator standar pembuangan air limbah dan prosedur pengolahan limbah sesuai dengan peraturan yang berlaku.
2. Instalasi pengolahan air limbah, rasio BOD-5 (permintaan oksigen kimia) menunjukkan biodegradasi fraksi limbah.
3. Rasio BOD-5 merupakan indikator ukuran instalasi pengolahan air limbah yang diperlukan untuk lokasi spesifik.

Secara konvensional, BOD ditentukan berdasarkan metode standar nasional. Namun, kelemahan utama dari pendekatan ini adalah waktu yang diperlukan yakni selama 5 (lima) hari dalam melakukan pemantauan yang berulang-ulang. Tes ini adalah salah satu yang paling luas di domain pemantauan air. (Jouanneau, 2014).

BOD ialah pengukuran jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme aerob untuk mengoksidasi bahan organik. BOD merupakan indikator penting untuk mengetahui tingkat pencemaran air limbah. Untuk mengukur BOD, digunakan peralatan *Lovibond Oxidirect*, Jerman. Sistem BOD Lovibond bekerja berdasarkan prinsip perbedaan tekanan dalam sistem tertutup yang disebut BOD respirometri. Awalnya, rentang pengukuran ditetapkan dan volume sampel diambil sesuai **Tabel 2.1** yang ditentukan oleh *Lovibond Oxidirect*. Sampel volume range dari *Lovibond Oxidirect* ditunjukkan pada **Tabel 2.1** berikut.

Tabel 2.1 Sampel Volume Range dari Lovibond Oxidirect.

Range BOD (mg/l)	Sampel volume (ml)
0-40	428
0-80	360
0-200	244
0-400	157
0-800	94
0-2000	56
0-4000	21.7

Batang magnet dimasukkan untuk pencampuran yang tepat. Sekitar 3-4 tetes larutan KOH ditempatkan pada seal gasket. Botol disekrup dan ditempatkan di dalam inkubator BOD pada suhu 20 °C. Inkubator BOD digunakan untuk mempertahankan suhu 20°C. Pembacaan data diukur di layar monitor. Lovibond Oxidirect ditunjukkan pada **Gambar 2.1** berikut.



Gambar 2.1 *Lovibond Oxidirect* (Kumar *et al.*, 2016).

BOD meter *Lovibond* bekerja dengan mengukur perubahan kadar oksigen dalam sampel air selama periode waktu tertentu. Sampel air ditempatkan dalam botol tertutup dan dibiarkan terdeoksidasi oleh mikroorganisme dalam jangka waktu tertentu (biasanya 5 hari pada 20°C). Selama proses dekomposisi, mikroorganisme mengonsumsi oksigen yang ada dalam sampel, mengakibatkan penurunan kadar oksigen terlarut dalam air. BOD kemudian diukur sebagai perubahan konsentrasi oksigen antara awal dan akhir periode dekomposisi. BOD meter *Lovibond* digunakan oleh laboratorium pengujian air, pemerintah, perusahaan air minum, dan lembaga lingkungan lainnya untuk memantau kualitas air, mengukur dampak pencemaran, dan mengelola sumber daya air (Kumar *et al.*, 2016).

Mikroorganisme menggunakan unsur oksigen untuk mengurai bahan organik yang dapat terurai, dan ini sering digunakan sebagai indikator pencemaran atau jumlah bahan organik di dalam air. Ini dikenal sebagai *Biological Oxygen Demand* (BOD). BOD adalah ukuran seberapa banyak oksigen yang diperlukan oleh organisme untuk mencerna makanan mereka, baik melalui proses biologis maupun kimiawi. Meskipun beberapa orang mungkin mengartikan BOD sebagai *Biological Oxygen Demand*, sebenarnya ini melibatkan proses biologi dan kimia. Jika BOD tinggi, ini menunjukkan adanya banyak materi organik dalam air. Sebaliknya, jika BOD rendah, ini mengindikasikan bahwa jumlah limbah organik

dalam air juga rendah, terutama jika limbah tersebut *degradable* atau mudah terurai (Paulus *et al.*, 2020).

BOD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk mengurai zat sisa yang ada pada limbah industri. Semakin tinggi kadarnya, maka hal itu menandakan bahwa bakteri membutuhkan oksigen yang banyak. Pengukuran BOD merupakan parameter untuk mengetahui derajat pencemaran terhadap banyaknya jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan zat organik terlarut di dalam udara (Rahima & Widayatno, 2020).

Terdapat penelitian terdahulu mengenai mendeteksi kebutuhan oksigen biokimia dan pengembangan sistem peringatan dini untuk kontaminan lingkungan oleh (Rame & Purwanto, 2021) Semakin banyak penelitian dan aplikasi industri sedang diselidiki dan diimplementasikan basis bakteri *Shewanella putrefaciens* (*Pseudomonas putrefaciens*) (Allam *et al.*, 2020; N. Li *et al.*, 2020). Selain itu, pengembangan dilakukan dalam pengolahan air limbah untuk menghasilkan listrik dan biofuel dan mendeteksi toksisitas dan bahan organik dalam air limbah. Bio sensor dalam pemantauan lingkungan seperti BOD dan toksisitas dapat menggunakan bakteri elektroaktif, sehingga *Electroactive bacteria* dapat digunakan sebagai elemen sensitive dalam berbagai aplikasi lingkungan, seperti sistem peringatan dini dan deteksi BOD. Beberapa pengembangan teknologi peringatan dini berdasarkan biosensor berbasis bakteri elektroaktif telah dilakukan, seperti menggunakan biofilm *Shewanella loihica*, biocathode sebagai elemen sensitif, dan konfigurasi biosensor.

Kandungan BOD diuji dengan alat bernama *BOD system oxidirect* yang menggunakan cara respirometri. Dalam metode ini, dapat dilihat bagaimana bakteri bernapas dan mengukur jumlah oksigen dalam tabung uji (botol BOD) selama proses berlangsung. Ketika menguji kandungan BOD, kita melibatkan bakteri yang memerlukan oksigen, dan pada awalnya, yaitu pada hari 0, nilai BOD diperkirakan menjadi 0 mg/l (Fadzry *et al.*, 2020).

Nilai BOD tidak menunjukkan jumlah bahan organik yang sebenarnya, melainkan hanya mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mendekomposisi bahan organik tersebut. Tujuan analisis BOD dalam pengolahan limbah yaitu:

1. BOD penting untuk mengetahui perkiraan jumlah oksigen yang akan diperlukan untuk menstabilkan bahan organik yang ada secara biologi,
2. Mengetahui ukuran fasilitas unit pengolahan limbah,
3. Mengukur efisiensi suatu proses perlakuan dalam pengolahan limbah,
4. Mengetahui kesesuaiannya dengan batasan yang diperbolehkan bagi pembuangan air limbah.

Air limbah merupakan air buangan yang dihasilkan dari pemakaian air dari proses produksi dan berbagai aktivitas lain yang ditampung dalam danau buatan. Air limbah yang dihasilkan berpotensi memberikan dampak pencemaran lingkungan jika dalam proses produksi menggunakan bahan kimia yang berlebihan. Bahan yang dapat menimbulkan masalah pencemaran yaitu bahan organik, non-organik, dan logam berat yang konsentrasinya melebihi baku mutu yang diperbolehkan untuk masuk ke lingkungan. Limbah dengan karakteristik tersebut dapat menimbulkan kerusakan lingkungan dan kesehatan manusia dalam jangka waktu yang panjang (Andika *et al.*, 2020)

Pencemaran yang berbahaya antara lain adalah pencemaran logam berat. Logam berat merupakan salah satu jenis zat polutan lingkungan yang paling umum dijumpai dalam perairan. Logam berat ini juga dapat berdampak negatif terhadap manusia yang menggunakan air tersebut dan organisme yang ada. Terdapatnya kandungan logam berat dalam organisme mengindikasikan adanya sumber logam berat yang berasal dari alam atau dari aktivitas manusia. Kegiatan industri yang intensif dan aktivitas manusia telah banyak mengakibatkan pelepasan limbah logam berat ke lingkungan. Logam berat juga dapat berpindah dari lingkungan ke organisme dan dari organisme satu ke organisme lain melalui rantai makanan. Logam berat yang ada pada perairan, suatu saat akan turun dan mengendap pada dasar perairan, membentuk sedimentasi dan juga menyebabkan masyarakat yang menggunakan air yang mengandung logam berat tersebut akan terkontaminasi

logam berat tersebut. Air yang mengandung logam berat akan menjadi bahan racun dalam tubuh makhluk hidup (Nasution & Sihombing, 2017).

Berdasarkan hal diatas perlu dilakukan analisis kualitas limbah sebelum dibuang ke lingkungan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah limbah tersebut berbahaya atau tidak sehingga nantinya dapat dilakukan upaya untuk mengatasi masalah yang ditimbulkan oleh air limbah tersebut. Keberadaan limbah dapat memberikan dampak negatif terhadap lingkungan, seperti mengganggu transparansi air, mengganggu proses fotosintesis yang berujung pada defisiensi oksigen, menyebabkan tumor ataupun kematian pada organisme akuatik, serta mengakibatkan iritasi, keracunan, mutasi gen, dan kanker pada manusia. Analisis kualitas limbah dapat dilakukan menggunakan indikator biologi dan kimia. Indikator biologi merupakan korelasi perilaku komunitas di alam dengan lingkungan. Sedangkan indikator kimia dilakukan dengan melakukan analisis BOD, *Disolved Oxygen* (DO). Dengan demikian perlu dilakukan pengujian BOD untuk mengetahui kondisi limbah yang dihasilkan dari kegiatan industri tersebut (Andika *et al.*, 2020).

Kadar BOD dalam air limbah harus sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Standar ini adalah batasan untuk jumlah makhluk hidup, zat, energi, atau komponen lain yang dapat mencemari air limbah sesuai dengan jenis usaha maupun kegiatan domestik. Standar ini mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No P.68/Menlhk-Setjen/2016 tentang baku mutu air limbah untuk domestik yang ditunjukkan pada **Tabel 2.2** berikut.

Tabel 2.2 Baku Mutu Air Limbah Domestik

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu
1	BOD	mg/l	30
2	TSS (Total Suspended Solids)	mg/l	30
3	Minyak dan Lemak	mg/l	5
4	COD	mg/l	100
5	pH	-	6 sampai 9

Sedangkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah untuk tapioka yang ditunjukkan pada **Tabel 2.3** berikut.

Tabel 2.3 Baku Mutu Air Limbah Tapioka

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu
1	BOD	mg/l	150
2	TSS (Total Suspended Solids)	mg/l	100
3	Sianida (CN)	mg/l	0,3
4	COD	mg/l	300
5	pH	-	6 sampai 9

Dalam mendapatkan besaran polutan yang ada pada air limbah industri ini, dimana BOD merupakan parameter yang akan diuji. BOD juga merupakan parameter penting untuk menentukan kualitas air limbah dikarenakan BOD berperan sebagai penduga pencemaran bahan organik dan kaitannya dengan penurunan oksigen terlarut (Andika *et al.*, 2020).

Nilai (*Biological Oxygen Demand*) BOD di kolam stabilisasi air limbah fakultatif dapat diprediksi menggunakan bantuan metode pemodelan matematika. Karena nilai BOD mencerminkan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk mengoksidasi. Semakin tinggi nilai BOD, semakin banyak bahan organik, bahkan semakin tinggi nilai BOD tersebut dapat berpeluang untuk digunakan sebagai sumber pembangkit energi alternatif (Ihsan Wira & Sunarsih, 2018).

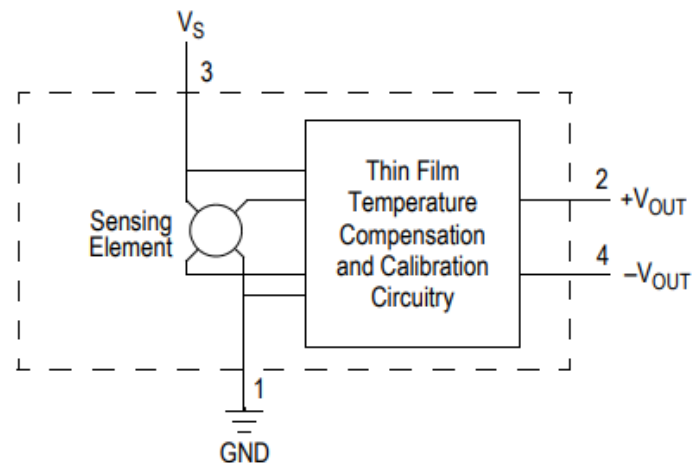
Beberapa peneliti menambahkan bahwa pengertian BOD tidak hanya menyatakan jumlah oksigen tetapi juga menyatakan jumlah bahan organik mudah urai (*biodegradable organics*) yang ada didalam air (Mays, 1996). Metode pengukuran BOD cukup sederhana, yaitu mengukur kandungan oksigen terlarut awal (DO_1) dari sampel pada awal pengambilan sampel, kemudian mengukur kandungan oksigen terlarut kembali setelah sampel diinkubasi selama 5 hari pada kondisi gelap dan suhu tetap yang sering disebut dengan DO_5 . Selisih DO_1 dan DO_5 ($DO_1 - DO_5$) merupakan nilai BOD yang dinyatakan dalam miligram oksigen per liter (mg/l). Pengukuran oksigen dapat dilakukan secara analitik dengan cara

titrasi (metode winkler, iodometri) atau dengan menggunakan alat yang disebut DO meter yang dilengkapi dengan probe khusus (Santoso, 2018).

Penelitian yang dilakukan oleh (Ariesmayana et al., 2022) telah menganalisa air Sungai Cibanten sebagai sumber air baku perusahaan daerah air minum. Penentuan sumber air baku pada suatu Perusahaan Daerah Air Minum merupakan langkah awal dalam menentukan lokasi atau tempat sebagai pemenuh air baku untuk keperluan pengolahan air bersih. Tujuan penelitian ini untuk analisa awal suatu sumber air untuk dijadikan salah satu alternatif sumber air baku untuk pengolahan air bersih. Penelitian menggunakan metode analisa kuantitatif yang berupa pengukuran data lapangan jumlah penduduk dan proyeksi pertumbuhan penduduk wilayah distribusi, dengan melakukan analisa uji kualitas terhadap Sungai Cibanten. Berdasarkan hasil pengolahan data, total kebutuhan air bersih rata-rata Kecamatan Serang dan Kecamatan Kasemen sebesar 697,06 liter/detik. Kapasitas debit air Sungai Cibanten tahun 2020 memiliki rata-rata 3.690 liter/detik sehingga menunjukkan debit Sungai Cibanten layak dijadikan sumber air baku untuk parameter kuantitas dan kontinuitas. Untuk pengujian kualitas air Sungai Cibanten dengan parameter BOD, COD, TSS, TDS dan pH, nilai kandungan TDS dan pH memenuhi baku mutu lingkungan, untuk nilai TSS, TDS dan BOD hasilnya melebihi baku mutu lingkungan. Perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai air bersih dan air konsumsi.

2.3 MPX2200A

Sensor MPX2200A menghasilkan keluaran sinyal analog dalam bentuk tegangan. Sensor tekanan MPX2200A perangkat seri sensor tekanan piezoresistif silicon yang menghasilkan *output* tegangan yang linier dan akurat sesuai dengan tekanan yang diterapkan. Sensor ini memiliki tingkat sensitivitas dalam satuan mV per kPa (kilopascal) (Freescale Semiconductor, 2008). Skematik Diagram Sensor ditunjukkan pada **Gambar 2.2** berikut.

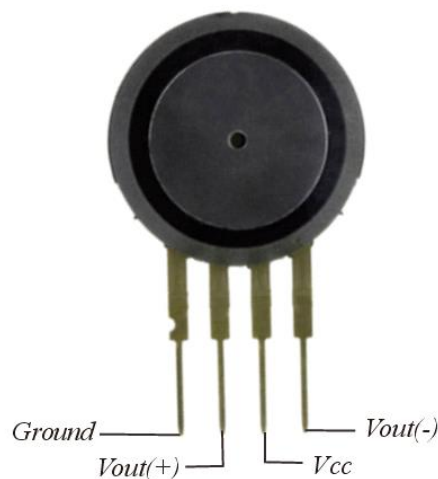


Gambar 2.2 Skematik Diagram Sensor (*Freescale Semiconductor, 2008*).

Prinsip kerja sensor ini adalah berdasarkan efek piezoresistif, dimana resistansi silikon pada chip sensor berubah seiring dengan perubahan tekanan yang diterimanya. Akibatnya, tegangan keluaran dari sensor juga berubah secara proporsional terhadap tekanan yang diterima oleh sensor.

Sensor tekanan piezoresistif adalah sensor tekanan yang terbuat dari bahan semikonduktor yang berupa silikon. Sensor ini dapat berubah menjadi parameter dan mengubahnya menjadi perubahan *piezoresistance*. Perubahan ini dengan semikonduktor membentuk permukaan diafragma dan mengonversikan perubahan hambatan listrik menjadi sinyal elektrik dengan menggunakan efek *piezoresistance* yang terjadi ketika diafragma terdistorsi akibat tekanan eksternal. Satuan pembacaan sensor ini pada tekanan yaitu kilopascal.

Sensor ini dilengkapi dengan diafragma elastis (membran), biasanya terbuat dari bahan seperti silikon atau karet, yang berfungsi sebagai elemen pengukur tekanan. Ketika ada perubahan tekanan di lingkungan sensor (misalnya tekanan atmosfer atau tekanan di atas permukaan air), diafragma akan mengalami deformasi (tertekuk atau meluas) sesuai dengan besarnya tekanan yang diterima. (Novrizaldi *et al.*, 2022). Bentuk fisik Sensor Tekanan MPX2200A ditunjukkan pada **Gambar 2.3** berikut.



Gambar 2.3 Sensor Tekanan MPX2200A (Novrizaldi *et al.*, 2022).

Di balik diafragma elastis, terdapat elemen piezoelektrik yang peka terhadap perubahan bentuk atau deformasi pada diafragma tersebut. Ketika diafragma mengalami tekukan atau pelebaran, elemen piezoelektrik akan menghasilkan perubahan tegangan atau arus yang sebanding dengan besarnya tekanan yang diterima. Perubahan tegangan atau arus ini kemudian dikonversi menjadi sinyal listrik yang lebih mudah diukur dan dianalisis. Sensor ini menghasilkan tegangan keluaran yang proporsional dengan tekanan yang diterapkan. Sebagai hasilnya, saat tekanan di atas permukaan air berubah, sensor MPX2200A akan menyesuaikan tegangan keluarannya, yang kemudian dapat diukur oleh sistem pengukuran seperti Raspberry Pi atau mikrokontroler. Penjelasan pin-pin Sensor Tekanan MPX2200A dijelaskan pada **Tabel 2.4** berikut.

Tabel 2.4 Pin-pin Sensor Tekanan MPX2200A.

Pin	Nama	Deskripsi
1	Ground (GND)	Ground (tanah)
2	Vout (+)	Pin ini merupakan keluaran tegangan analog dari sensor.
3	Vcc	Pin ini untuk pasokan daya dan koneksi ground. Biasanya, ini dihubungkan ke ground pada sirkuit.
4	Vout (-)	Pin ini merupakan keluaran tegangan analog dari sensor.

Berdasarkan pada (*Datasheet NXP Series 2008*) Sensor tekanan piezoresistif seperti MPX2200 memiliki struktur yang lebih kompleks dibandingkan dengan sensor tekanan berdasarkan metal *thin-film* atau ceramik *thin-film*. Dan terbuat dari chip silikon yang memiliki elemen piezoresistif yang peka terhadap tekanan. Ketika tekanan diterapkan pada sensor, resistansi piezoresistif dalam chip berubah, dan ini menghasilkan perubahan tegangan keluaran.

Sensor MPX2200A terdapat dua keluaran tegangan, yaitu Vout- dan Vout+. Perubahan tegangan pada kedua keluaran ini akan berbanding lurus dengan perubahan tekanan yang diterima oleh sensor. Sensitivitas macam-macam sensor tekanan ditunjukkan pada **Tabel 2.5** berikut.

Tabel 2.5 Sensitivitas macam-macam Sensor Tekanan.

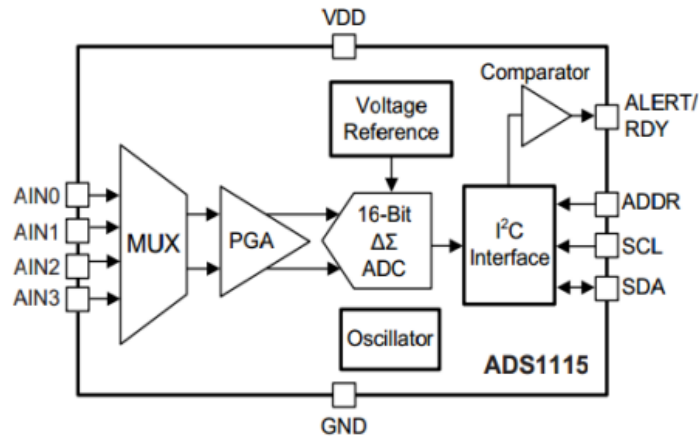
Tipe Sensor	Pressure Range (kPa)	Supply Voltage (V)	Sensitivity (mV/kPa)
MPXP2053GS	0 - 50	10 – 15	0.8
MPX53DP	0 - 50	3 -6	1.2
MPX2100DP	0 - 100	10 – 16	0.4
MPX2200A	0 - 200	10 - 16	0.2

Sensor tekanan piezoresistif seperti MPX2200 digunakan dalam berbagai aplikasi dimana pemantauan dan pengukuran tekanan yang akurat diperlukan, seperti dalam pengendalian proses industri, dan pengukuran tekanan dalam sistem fluida. Keunggulan utama sensor ini adalah kemampuannya untuk memberikan respons yang cepat dan linier terhadap perubahan tekanan (Noviyanto, 2016).

2.4 ADS1115

ADS1115 adalah sebuah modul yang berfungsi untuk melakukan fungsi konversi dari sinyal analog ke digital. Modul ADS1115 terdiri dari 4 *input* sinyal analog. Modul ADC *converter external* ADS1115 menyediakan presisi 16 bit pada 860 sampel / *second over* I2C. Cara kerja ADS1115 yaitu input analog yang telah diterima kemudian memasuki rangkaian *multiplexer* yang akan memilih data sebelum diteruskan ke blok PGA (*Programmable Gain Amplifier*). Pada blok PGA sinyal tersebut akan dikuatkan kemudian dikirim ke rangkaian ADC untuk

dikonversi. Setelah dikonversi, data akan dikirim melalui komunikasi serial I2C yaitu pin SCL dan SDA (Hasanah *et al.*, 2022). Adapun Blok Rangkaian ADS1115 ditunjukkan pada **Gambar 2.4** berikut.



Gambar 2.4 Blok Rangkaian ADS1115 (Hasanah *et al.*, 2022).

Modul ADS1115 juga merupakan jenis ADC yang memiliki resolusi 16 bit, ADC ini memiliki tingkat ketelitian nilai hasil konversi yang tinggi dibandingkan dengan ADC yang memiliki sedikit resolusi. Dalam ADC ini juga terdapat 4 channel yang dapat mengkonversi nilai untuk 4 sensor sekaligus dengan differensial bipolar maupun tunggal. Fitur ADC ini yaitu sebuah referensi *onboard* dan *oscillator*. Data yang diterima akan ditransfer atau dikirim melalui komunikasi serial I2C. Serial tersebut terdiri dari SDA dan SCL. Modul ini digunakan untuk mengukur sinyal analog dari sensor atau perangkat lainnya dan mengubahnya menjadi nilai digital yang dapat diproses oleh mikrokontroler. Ini sering digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk pengukuran suhu, tekanan, tegangan, atau sinyal analog lainnya (Maslyawan *et al.*, 2021). Modul ADS1115 ditunjukkan pada **Gambar 2.5** berikut.



Gambar 2.5 Modul ADS1115 (Wahyudi *et al.*, 2016).

Penjelasan pin-pin Modul ADS1115 dijelaskan pada **Tabel 2.6** berikut.

Tabel 2.6 Deskripsi pin ADS1115.

Nama Pin	Deskripsi
VDD	Daya positif
GND	Ground
SCL (Serial Clock)	Pin I2C yang digunakan untuk mengatur kecepatan komunikasi antara mikrokontroler dan ADS1115
SDA (Serial Data)	Pin I2C yang digunakan untuk mentransfer data antara mikrokontroler dan ADS1115
ADDR (Addres)	Digunakan untuk mengkonfigurasi alamat I2C perangkat
ALRT (Alert)	Digunakan untuk memberikan sinyal peringatan atau kesiapan
Analog (A0, A1, A2, A3)	Mengukur tegangan dari perangkat atau sensor eksternal

Modul ini memiliki fitur *multiplexer input* (MUX) sehingga dapat bekerja dengan *mode single-ended* yakni satu input pada tiap pin dan *differential inputs* yakni dua input pada dua pin. *Transfer* data modul ini dilakukan dengan menggunakan I2C yang terdiri dari serial SCL dan SDA. Modul ini digunakan sebagai pengukur tegangan. Jadi, untuk menggunakan ADS1115, biasanya akan memasangnya ke dalam sistem sebagai bagian dari rangkaian elektronik untuk mengukur sinyal dari sensor atau perangkat eksternal. Kemudian, dapat mengakses data digital yang dihasilkan oleh ADS1115 untuk analisis lebih lanjut (Wahyudi *et al.*, 2016).

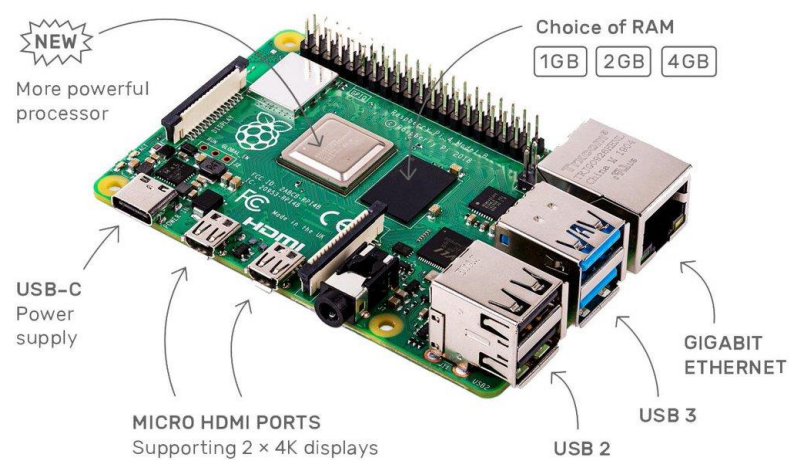
2.5 Raspberry Pi 4

Raspberry Pi 4 adalah sebuah mikroprosesor yang mampu menjalankan perintah input dari pengguna. Raspberry Pi 4 terdiri dari RAM (*Random Access Memory*), Modul Radio, USB (*Universal Serial Bus*), PMIC (*Power Management Integrated Circuit*), Port Ethernet, SoC (*System on Chip*), GPIO (*General Purpose Input Output*), dan Micro SD. Raspberry Pi 4 menggunakan bahasa *Python* untuk menjalankan programnya, dan juga menggunakan sistem operasi *Linux*, sehingga memudahkan pengguna dalam memprogram perangkat keras maupun perangkat

lunak pada Raspberry Pi 4 (Radhi *et al.*, 2021). Berikut bentuk fisik Raspberry Pi 4 ditunjukkan pada **Gambar 2.6** dan Spesifikasi Raspberry Pi 4 pada **Gambar 2.7** berikut.



Gambar 2.6 Raspberry Pi 4 (Radhi *et al.*, 2021).



Gambar 2.7 Spesifikasi Raspberry Pi 4 (Radhi *et al.*, 2021).

Adapun spesifikasi dari sensor Raspberry Pi 4 adalah sebagai berikut:

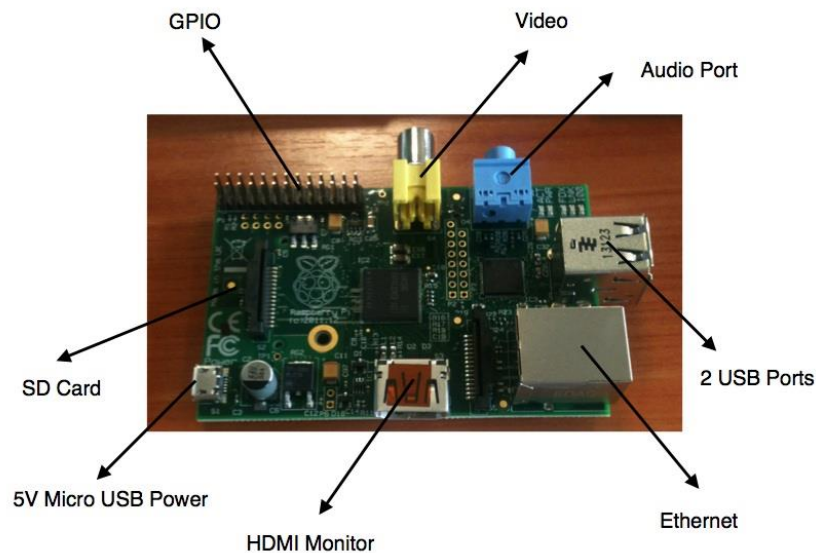
1. Raspberry Pi 4 dilengkapi dengan prosesor berkekuatan 1.8 GHz.
2. Opsi RAM tersedia mulai dari 1GB hingga 8GB sesuai dengan kebutuhan.
3. Dukungan untuk koneksi nirkabel Wi-Fi dan Bluetooth telah disediakan pada Raspberry Pi 4.

4. Terdapat port Ethernet, USB 3.0, dan USB 2.0 untuk berbagai jenis konektivitas kabel.
5. Raspberry Pi 4 dilengkapi dengan 40 pin GPIO yang dapat digunakan untuk pengembangan.
6. Dua port mikro HDMI tersedia untuk menghubungkannya ke layar.
7. Tersedia juga port untuk kamera dan tampilan tambahan.
8. Raspberry Pi 4 mampu melakukan decode video 4K dan memiliki grafis yang tangguh.
9. Sistem operasi dan data dapat disimpan di kartu Micro SD.
10. Raspberry Pi 4 dapat dihidupkan melalui USB C atau PoE.
11. Rentang suhu operasionalnya adalah antara 0°C hingga 50°C.

Raspberry Pi juga merupakan suatu perangkat *mini computer* berukuran sebesar kartu kredit. Raspberry Pi memiliki desain Raspberry Pi didasarkan seputar *SoC* (*System on a chip*) *Broadcom BCM2835*, yang mencakup *ARM1176JZF-S* dengan 700 MHz *processor* (*firmware* termasuk sejumlah mode "*Turbo*" sehingga pengguna dapat mencoba *overclocking*, hingga 1 GHz, tanpa mempengaruhi garansi), *VideoCore IV GPU*, dan awalnya dikirim dengan 256 *megabyte* RAM, kemudian *upgrade* ke 512MB. Termasuk *built-in hard disk* atau *solid-state drive*, tetapi menggunakan kartu SD (*SD memory card*) untuk *booting* dan penyimpanan jangka panjang (Ibnul Hakim & Putra, 2013).

Raspberry Pi dikembangkan oleh yayasan nirlaba, Raspberry Pi *Foundation*, yang dipimpin oleh sejumlah pengembang dan ahli komputer dari Universitas *Cambridge*, Inggris. Ide di balik komputer mungil ini dimulai pada tahun 2006, dengan tujuan mencetak generasi baru programmer. Seperti yang disebutkan dalam situs resmi Raspberry Pi *Foundation*, yaitu Eben Upton, Rob Mullins, Jack Lang, dan Alan Mycroft, dari Laboratorium Komputer Universitas *Cambridge*, merasa khawatir dengan penurunan keahlian dan jumlah siswa yang tertarik untuk mempelajari ilmu komputer. Oleh karena itu, mereka mendirikan yayasan Raspberry Pi bersama dengan Pete Lomas dan David Braben pada tahun 2009. Tiga tahun kemudian, Raspberry Pi Model B memasuki produksi massal. Dalam

peluncuran pertamanya pada akhir Februari 2012, dalam beberapa jam saja sudah terjual 100.000 unit. Kini, sekitar dua tahun kemudian, Raspberry Pi telah terjual lebih dari 2,5 juta unit ke seluruh dunia (Syamsul Arifin, 2018). Bentuk fisik Raspberry Pi ditunjukkan pada **Gambar 2.8** berikut.



Gambar 2.8 Raspberry Pi (Syamsul Arifin, 2018).

Raspberry Pi memiliki dua model yaitu model A dan model B. Secara umum Raspberry Pi Model B, 512MB RAM. Perbedaan model A dan B terletak pada *memory* yang digunakan, Model A menggunakan *memory* 256 MB dan model B 512 MB. Selain itu model B juga sudah dilengkapi dengan ethernet port (kartu jaringan) yang tidak terdapat di model A.

Keunggulan Raspberry Pi meliputi penggunaan *Micro SD Card* untuk menyimpan data, yang memungkinkan kita mengatur berapa besar memori yang dibutuhkan untuk menyimpan data di Raspberry Pi. Selain itu, Raspberry Pi memiliki performa grafis 3D yang unggul dan dapat menampilkan *video Blu-ray* dengan baik. Perangkat ini juga mendukung *overclock* dan *overvolting* dengan mengedit file *config.txt* serta mampu menjalankan program perkantoran seperti *OfficeLibre*.

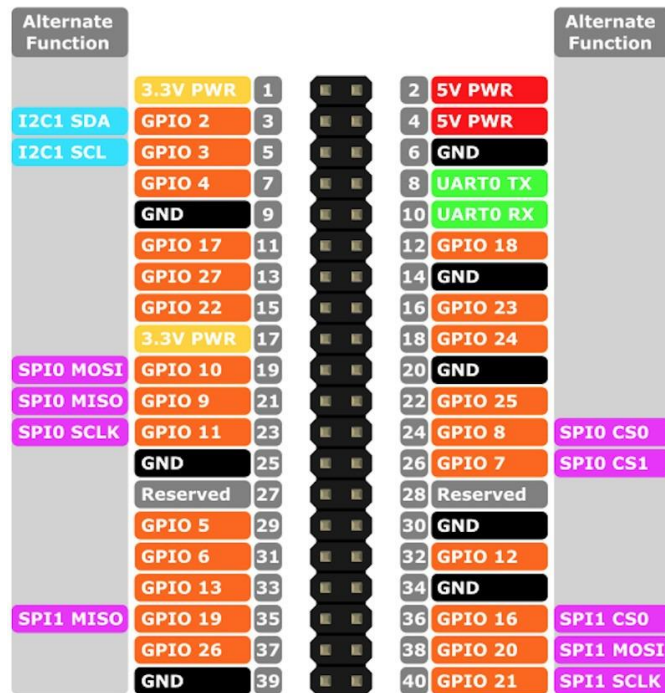
Namun, Raspberry Pi juga memiliki beberapa kelemahan. Perangkat ini cukup sensitif terhadap gangguan listrik jika tidak mendapatkan daya secara mendadak,

data yang tersimpan di dalamnya dapat hilang. Selain itu, saat mengedit file *config.txt* untuk meningkatkan performa dengan *overclock* dan *overvolting*, perangkat ini dapat mengalami penurunan usia yang lebih cepat (Pangestika, 2017).

Hardware Raspberry Pi tidak memiliki *real-time clock*, sehingga OS (*Operating System*) harus memanfaatkan *timer* jaringan *server* sebagai pengganti. Namun komputer yang mudah dikembangkan ini dapat ditambahkan dengan fungsi *real-time* (seperti DS1307) dan banyak lainnya, melalui saluran GPIO (*General Purpose input/output*) via antarmuka I²C (*Inter-Integrated Circuit*) (Syamsul Arifin, 2018).

Dengan memanfaatkan Mini PC sebagai pengontrol jarak jauh melalui bahasa pemrograman tertentu menjadikan lebih efisien dalam segi ukuran mini PC yang sebesar kartu kredit dan daya yang dipakai oleh mini PC tersebut. Mini PC yang digunakan adalah raspberry Pi. Raspberry Pi memiliki fitur GPIO (*General Purpose Input Output*) yang berfungsi sebagai port-port yang mengirimkan perintah sesuai instruksi atau program yang dibuat (Ibnul Hakim & Putra, 2013).

Raspberry Pi telah dilengkapi dengan semua fungsi layaknya sebuah komputer lengkap, Raspberry Pi ini mampu bekerja layaknya komputer pada umumnya dengan kemampuan untuk menjalankan sistem operasi *Linux* dan aplikasinya seperti *LibreOffice*, multimedia (*audio* dan *video*), peramban web, ataupun pemrograman (Wijaya *et al.*, 2017). Berikut tata letak pin pada Raspberry Pi 4 ditunjukkan pada **Gambar 2.9** berikut.



Gambar 2.9 Tata letak pin pada Raspberry Pi 4 (Wijaya *et al.*, 2017).

Penjelasan pin-pin Raspberry Pi 4 dijelaskan pada **Tabel 2.7** berikut.

Tabel 2.7 Deskripsi pin Raspberry Pi 4.

Pin	Konfigurasi Pin GPIO	Deskripsi
1	3.3V Power	Sumber daya 3.3 Volt
2	5V Power	Sumber daya 5 Volt
3	GPIO2 (SDA)	Digunakan untuk I2C Data
4	5V Power	Sumber daya 5 Volt
5	GPIO3 (SCL)	Digunakan untuk I2C Clock
6	Ground (GND)	Ground (tanah)
7	GPIO4	GPIO General-Purpose
8	GPIO4 (TXD)	Digunakan untuk UART Transmit
9	Ground (GND)	Ground (tanah)
10	GPIO15 (RXD)	Digunakan untuk UART Receive
11	GPIO17	GPIO General-Purpose
12	GPIO18	GPIO General-Purpose
13	GPIO27	GPIO General-Purpose
14	Ground (GND)	Ground (tanah)

Pin	Konfigurasi Pin GPIO	Deskripsi
15	GPIO22	GPIO <i>General-Purpose</i>
16	GPIO23	GPIO <i>General-Purpose</i>
17	3.3V <i>Power</i>	Sumber daya 3.3 <i>Volt</i>
18	GPIO24	GPIO <i>General-Purpose</i>
19	GPIO10 (MOSI)	Digunakan untuk SPI MOSI
20	<i>Ground</i> (GND)	<i>Ground</i> (tanah)
21	GPIO9 (MISO)	Digunakan untuk SPI MISO
22	GPIO25	GPIO <i>General-Purpose</i>
23	GPIO11 (SCLK)	Digunakan untuk SPI SCLK
24	GPIO8 (CEO)	Digunakan untuk SPI <i>Chip Enable</i> 0
25	<i>Ground</i> (GND)	<i>Ground</i> (tanah)
26	GPIO7 (CE1)	Digunakan untuk SPI <i>Chip Enable</i> 1
27	ID_SD	Digunakan untuk I2C ID EEPROM
28	ID_SC	Digunakan untuk I2C ID EEPROM
29	GPIO5	GPIO <i>General-Purpose</i>
30	<i>Ground</i> (GND)	<i>Ground</i> (tanah)
31	GPIO6	GPIO <i>General-Purpose</i>
32	GPIO12	GPIO <i>General-Purpose</i>
33	GPIO13	GPIO <i>General-Purpose</i>
34	<i>Ground</i> (GND)	<i>Ground</i> (tanah)
35	GPIO19 (MISO)	Digunakan untuk SPI MISO
36	GPIO16(CE2)	Digunakan untuk SPI <i>Chip Enable</i> 2
37	GPIO26	GPIO <i>General-Purpose</i>
38	GPIO20(MOSI)	Digunakan untuk SPI MOSI
39	<i>Ground</i> (GND)	<i>Ground</i> (tanah)
40	GPIO21 (SCLK)	Digunakan untuk SPI SCLK

2.6 Internet of Things (IoT)

Menurut penelitian dari (Zulfahmi, 2019) *Internet of Things* atau disebut IoT merupakan gabungan antara koneksi internet dengan berbagai mesin, perangkat,

atau alat fisik lain yang selalu terhubung satu sama lain secara langsung. Tujuan utamanya adalah untuk mengumpulkan dan memproses data secara *real-time*, yang kemudian bisa digunakan untuk berbagai tujuan. Sebagai contoh, IoT bisa digunakan dalam pemantauan gambar atau video dari kamera CCTV yang terhubung ke internet. Kamera dapat terus-menerus mengirimkan gambar atau *video* ke *server*, dan data ini kemudian digunakan untuk menghitung tingkat kemacetan lalu lintas atau menghitung jumlah kendaraan yang melewati area tersebut. Contoh lainnya adalah pengiriman data suhu ke *server* atau pusat data dari perangkat mikrokontroler yang dilengkapi dengan sensor suhu. Data suhu ini kemudian diproses dan dianalisis untuk mengambil keputusan atau tindakan yang diperlukan. Koneksi *internet* memungkinkan data suhu ini dapat diakses dari jarak jauh tanpa batasan geografis.

Teknologi IoT juga memungkinkan akses dan pemantauan data dari berbagai perangkat yang berbeda, seperti komputer, smartphone, dan perangkat elektronik lainnya. Di era modern ini, banyak produsen telah mengintegrasikan teknologi IoT dalam produk-produk mereka, seperti lampu yang bisa dikontrol melalui aplikasi web atau smartphone, atau mobil yang bisa dipantau dari jarak jauh. Bahkan perusahaan-perusahaan besar juga mulai mengadopsi teknologi IoT untuk meningkatkan produktivitas mereka (Zulfahmi, 2019). Teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan untuk memantau secara langsung kondisi tersebut. Pemantauan harus memberikan informasi kompleks dengan konsep *SMART* (*Specific, Measurable, Attainable, Relevant, Time-bound*) yaitu spesifik, terukur, dapat dicapai, relevan, dan dalam rentang waktu (Amaro, 2017).

Tentang konsep IoT, sebenarnya bisa dijelaskan dengan cukup sederhana dengan cara IoT yang bekerja berdasarkan tiga komponen utama dalam arsitekturnya, yaitu barang fisik yang dilengkapi dengan modul IoT, perangkat yang terhubung ke internet seperti modem dan router nirkabel, dan pusat data cloud tempat aplikasi dan basis data disimpan. Berikut Konsep Kerja IoT ditunjukkan pada **Gambar 2.10** berikut.



Gambar 2.10 Konsep kerja IoT (Syahputra Novelan et al., 2020).

Prinsip dasar kerja Perangkat IoT adalah dengan menerima instruksi melalui bahasa pemrograman atau cara lainnya untuk mengakses dengan berbagai jenis sensor seperti sensor suhu atau gas. Perangkat IoT juga dilengkapi dengan modul khusus yang memungkinkan mereka terhubung ke *internet*, sehingga mereka bisa mengirimkan data ke *server* atau menerima data dari *server*. Ketika data dikirim, setiap data diberi identifikasi khusus agar *server* dapat mengenali data tersebut dengan benar dan mencegah kesalahan dalam penerimaan. Setelah data dari perangkat IoT diterima oleh *server*, data tersebut akan diproses untuk kemudian ditampilkan dalam berbagai bentuk seperti dalam aplikasi, antarmuka grafis, atau format lainnya. Data ini dapat digunakan sebagai dasar untuk pengambilan keputusan atau kebijakan. Selain mengirim data, perangkat IoT juga dapat menerima instruksi atau data dari *server*, yang memungkinkan mereka dikendalikan dari jarak jauh. Pada dasarnya, perangkat IoT harus dapat berkomunikasi dengan *server* melalui jaringan *internet*, baik untuk mengirimkan data maupun menerima instruksi (Syahputra Novelan *et al.*, 2020).

2.6.1 Grafana

Grafana adalah perangkat lunak *open-source* yang digunakan untuk visualisasi dan analisis data. Dengan Grafana, pengguna dapat menampilkan, memantau, serta mengeksplorasi metrik yang tersimpan dalam *database*. Alat ini memungkinkan konversi data dari *database time-series* (TSDB) menjadi grafik dan visualisasi yang menarik serta informatif.

Grafana sangat ideal untuk membuat dashboard dinamis dengan berbagai fitur bawaan. Perangkat lunak ini juga menyediakan template dashboard yang memungkinkan pengguna mengelola berbagai variabel data dengan lebih mudah. Selain itu, Grafana mendukung visualisasi data dalam bentuk time-series, sehingga sangat efektif dalam memantau dan menganalisis data yang berkembang seiring waktu.

Grafana digunakan untuk menampilkan status layanan yang berjalan pada aplikasi maupun server. Namun, fungsinya tidak terbatas pada itu saja. Grafana juga dapat digunakan untuk memvisualisasikan data sensor industri, mengelola implementasi Internet of Things (IoT), memantau kondisi cuaca, serta mengontrol proses yang sedang berlangsung. Perangkat lunak ini menyediakan berbagai opsi untuk membuat dashboard yang menarik dan informatif. Terdapat beberapa jenis panel yang bisa digunakan, seperti grafik, *singlestat*, *dashlist*, tabel, dan teks. Panel grafik berfungsi untuk menampilkan metrik dan seri data dalam bentuk visual yang mudah dipahami.

Karavakis & Aimar (2016) melaporkan dari Summer Student Program di European Organization of Research Nuclear (CERN) *openlab* membahas tentang Grafana serta membandingkannya dengan penyedia layanan dashboard lain, seperti Kibana dan Zeppelin. Laporan tersebut menyoroti bahwa Grafana merupakan alat yang sangat andal dalam menyediakan dashboard dinamis dengan berbagai fitur bawaan yang kaya. Salah satu keunggulan Grafana adalah fitur variable template, yang memungkinkan penggunaan sumber data dinamis serta variabel untuk parameter pencarian atau penyesuaian rentang waktu. Selain itu, sumbu Y dapat dikustomisasi, sehingga membantu mengurangi beban kerja tambahan dalam transformasi data, misalnya mengubah *byte* menjadi *megabyte* secara otomatis ke dalam bentuk visualisasi yang sesuai. Namun, Grafana memiliki keterbatasan pada sumbu X yang kurang fleksibel dalam menampilkan data *non-time-series*. Karena Grafana berbasis *time-series*, data nominal tidak dapat digunakan langsung pada sumbu X. Untuk mengatasi hal ini, Grafana menyediakan alternatif visualisasi menggunakan diagram lingkaran. Secara

keseluruhan, laporan ini menegaskan bahwa Grafana sangat mendukung visualisasi data dalam format *time-series*, menjadikannya alat yang kuat untuk pemantauan dan analisis berbasis waktu.

Grafana mendukung berbagai sumber data (data source), seperti Graphite, InfluxDB, *OpenTSDB*, *Prometheus*, *Elasticsearch*, dan *CloudWatch*. Perangkat lunak ini menyediakan plugin data source yang sangat lengkap, terutama untuk InfluxDB. Selain itu, Grafana memiliki berbagai fitur canggih, termasuk editor *query* yang kaya, anotasi untuk menandai peristiwa penting, serta templating *queries* yang memungkinkan pengguna membuat *query* yang lebih fleksibel dan dinamis.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Agustus sampai November 2024. Kegiatan penelitian ini terdiri dari studi literatur dan pembuatan proposal penelitian, perancangan sistem monitoring, kalibrasi sensor, pengujian dan pengambilan data, dan pembuatan laporan akhir yang ditunjukkan pada **Tabel 3.1**. Perancangan alat dilakukan di Laboratorium Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri (BSPJI) Bandar Lampung. Jadwal kegiatan penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 3.1** berikut.

Tabel 3.1 Jadwal kegiatan penelitian.

No	Kegiatan	Bulan			
		Agustus	September	Oktober	November
1	Studi literatur dan pembuatan proposal penelitian				
2	Perancangan alat monitoring				
3	Kalibrasi sensor				
4	Pengujian dan pengambilan data penelitian				
5	Analisis data dan pembuatan laporan akhir				

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Pada penelitian ini memerlukan beberapa bahan dan alat untuk membuat sistem monitoring BOD berbasis IoT. Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 3.2** berikut.

Tabel 3.2 Alat yang digunakan

No.	Nama Alat	Fungsi
1.	Inkubator	Untuk menjaga suhu konstan dan menciptakan kondisi stabil bagi mikroorganisme alami dalam sampel selama pengujian.
2.	SD Card	Media penyimpanan utama dan sistem operasi.
3.	Perangkat lainnya	Pendukung dalam pembuatan alat, seperti obeng, kabel LAN, solder, dan lain-lain.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 3.3**

Tabel 3.3 Bahan yang digunakan

No.	Nama Bahan	Fungsi
1.	Raspberry Pi 4	Sebuah mikroprosesor untuk menjalankan perintah input dari pengguna.
2.	Sensor MPX2200A	Untuk membantu dalam mendapatkan data tekanan yang dapat digunakan dalam berbagai <i>operating</i> sistem yang memerlukan pemantauan atau kendali tekanan.
3.	Modul ADS1115	Untuk mengubah sinyal analog (MPX2200A) menjadi data digital yang dapat diproses oleh perangkat elektronik maupun mikrokontroler.
4.	Power supply	Untuk memberikan tegangan DC pada Raspberry Pi 4.
5.	Limbah cair	Sebagai objek penelitian (Limbah Cair Tapioka dan Domestik)
6.	Botol Winkler	Sebagai wadah atau tempat untuk air limbah yang di uji
7.	Jumper dan Kabel	Untuk menghubungkan rangkaian.

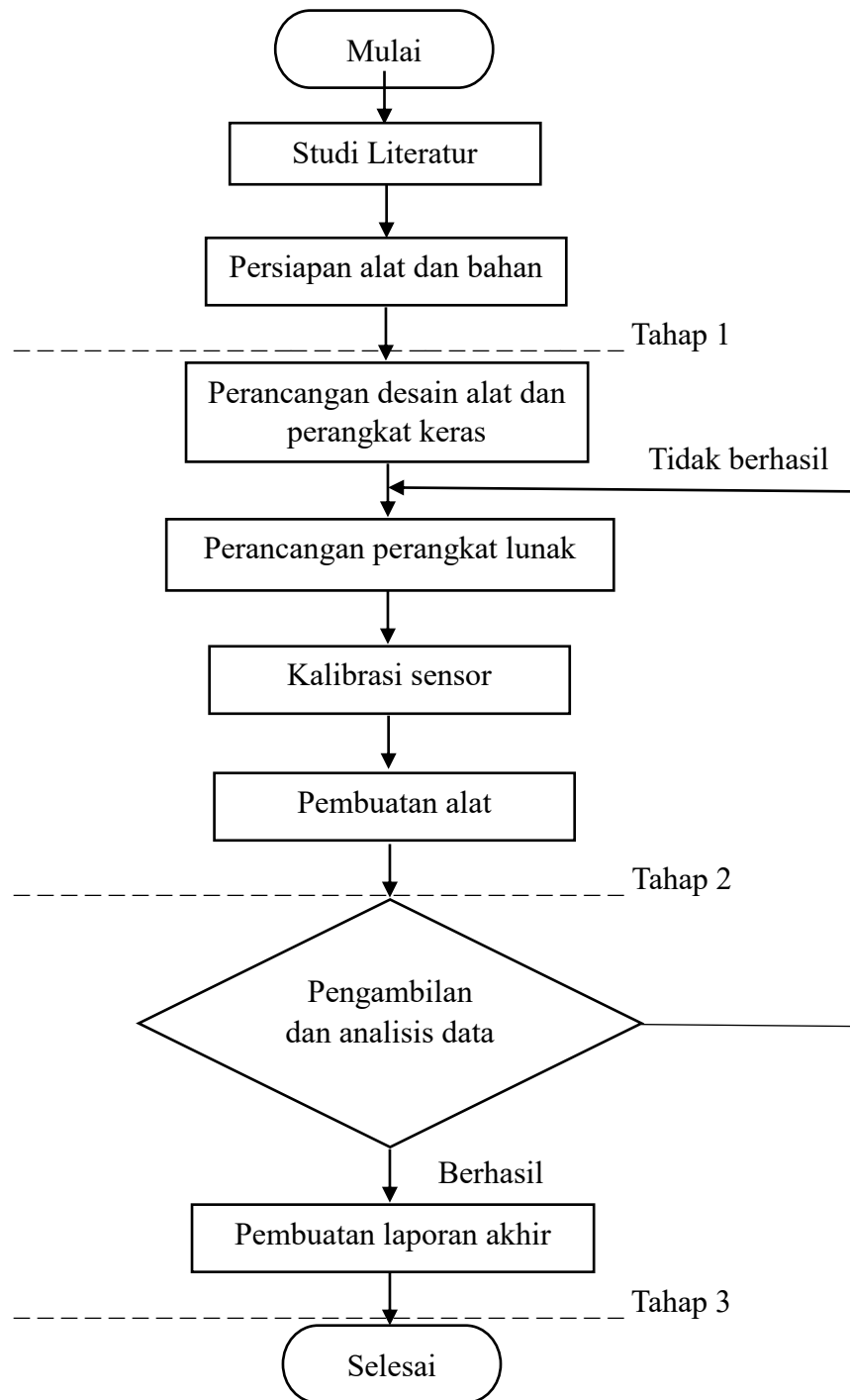
Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 3.4**

Tabel 3.4 Perangkat lunak yang digunakan

No.	Nama Perangkat	Fungsi
1.	RealVNC Viewer	Untuk mengakses perangkat (Raspberry Pi) secara visual, seperti mengendalikan perangkat dari jauh.
2.	Influxdb	Untuk menyimpan dan mengelola data berbasis <i>time-series</i> .
3.	Grafana	Untuk memvisualisasikan data.
4.	Thonny	Tempat untuk membuat pemrograman.

3.3 Metode Penelitian

Dalam perancangan alat dalam sistem monitoring, dilakukan beberapa tahapan. Adapun secara keseluruhan tahapan penelitian digambarkan pada **Gambar 3.1** berikut.

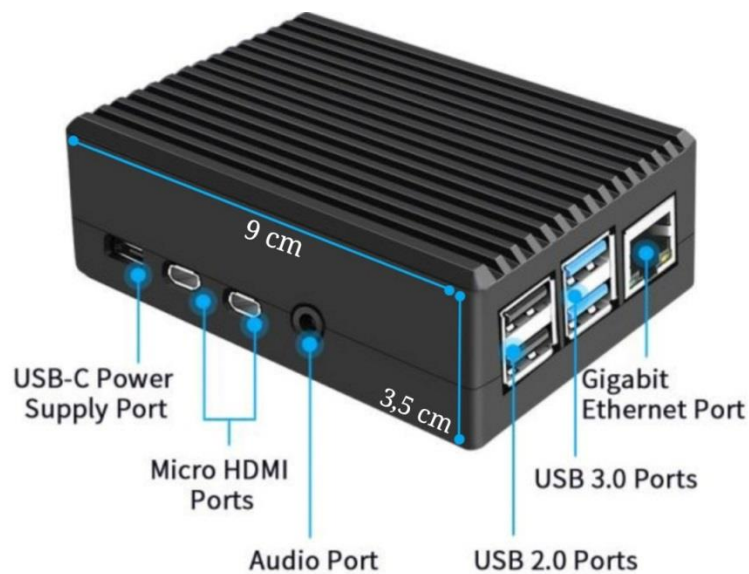


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.

Berdasarkan dari **Gambar 3.1** hal pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah melakukan studi literatur, mempersiapkan alat dan bahan, perancangan desain alat dan perangkat keras serta perangkat lunak, karakterisasi sensor, pembuatan alat, lalu pengambilan dan analisis data, dan yang terakhir pembuatan laporan akhir.

3.3.1 Perancangan Desain Alat

Pada penelitian perancangan sistem dengan monitoring pengukuran BOD berbasis IoT, perancangan ini merupakan desain alat berbentuk balok bertujuan untuk menciptakan wadah fisik yang sesuai dan aman untuk menjaga komponen-komponennya agar berfungsi secara optimal. Desain alat ditunjukkan pada **Gambar 3.2** berikut.

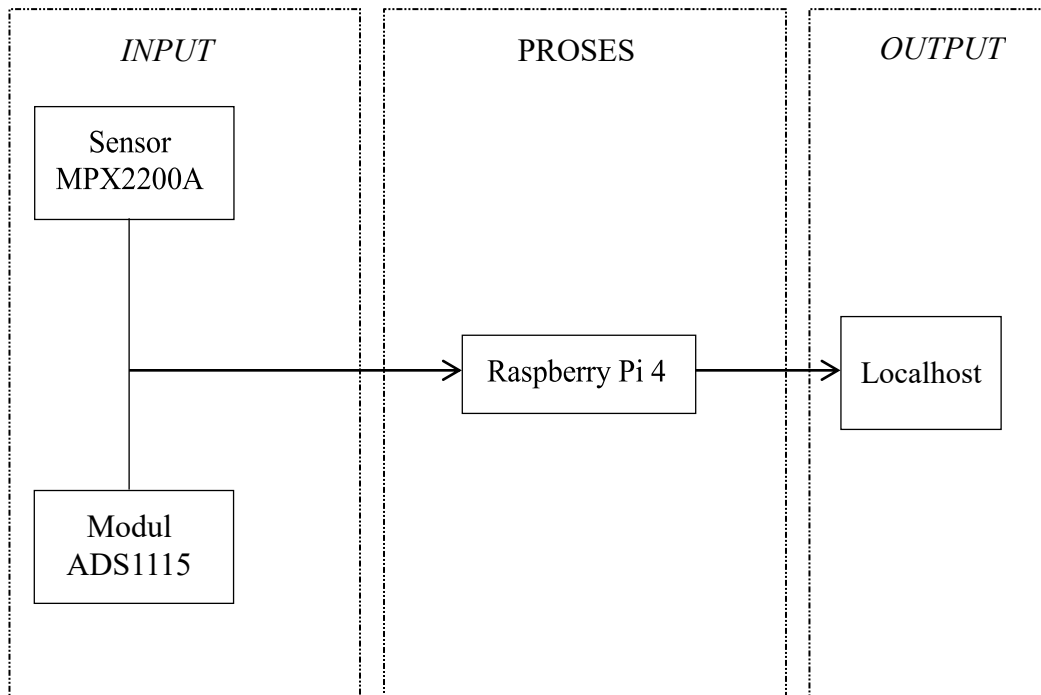


Gambar 3.2 Desain alat.

Berdasarkan pada **Gambar 3.2** merupakan casing dirancang untuk mendukung fungsi dan efisiensi raspberry pi. Pada sisi casing, terdapat beberapa port utama, yaitu USB-C Power Supply port untuk suplai daya, Micro HDMI port untuk koneksi ke perangkat display, Ethernet Port untuk konektivitas jaringan kabel, lalu USB port (USB 3.0 dan USB 2.0) yang mendukung koneksi perangkat eksternal seperti *keyboard*, *mouse*, atau penyimpanan data.

3.3.2 Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam melakukan perancangan sistem *monitoring* pengukuran BOD berbasis IoT adalah Raspberry Pi 4, modul ADS1115, sensor MPX2200A, handphone atau laptop, dan *power supply*. Adapun tampilan diagram blok sistem ditunjukkan pada **Gambar 3.3** berikut.

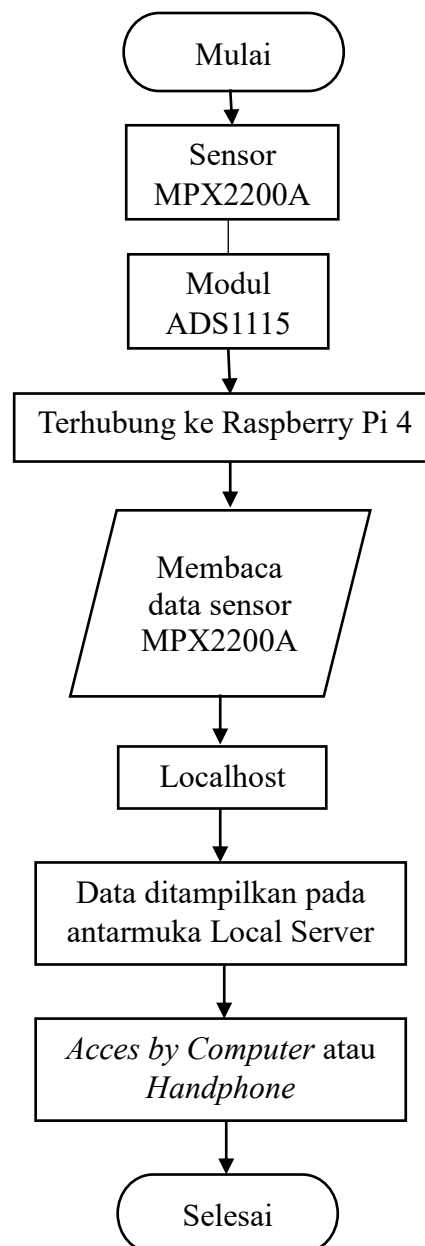


Gambar 3.3 Diagram Blok Perancangan Sistem.

Berdasarkan dari **Gambar 3.3** Dapat dijelaskan bahwa diagram blok perangkat keras (hardware) yang terbagi menjadi 3 bagian blok yaitu diagram *input* sensor MPX2200A, modul ADS1115, dan *power supply*. Selanjutnya masukan dari sensor MPX2200A, modul ADS1115, dan *power supply* diproses menggunakan Raspberry Pi 4, sensor MPX2200A digunakan untuk membantu dalam mendapatkan data tekanan. Kemudian, modul ADS1115 digunakan untuk mengubah sinyal analog (MPX2200A) menjadi data digital. Terhubung ke Raspberry Pi 4. Dan data tersebut dikirim ke Raspberry Pi 4 secara serial, datanya akan divisualisasikan pada *web* (Grafana) berupa satuan milligram per liter (mg/l). Setelah diproses oleh Raspberry Pi 4, data pengukuran BOD akan ditampilkan pada *web* (Grafana) berupa data dan grafik dengan satuan nilai milligram per liter (mg/l).

3.3.3 Perancangan Perangkat Lunak

Pada perancangan perangkat lunak dilakukan pemrograman berupa pembacaan data sensor, melakukan pengukuran *output* berdasarkan oksigen terlarut awal dan oksigen terlarut akhir. Perancangan antar muka Local Server dilakukan menggunakan *operating* sistem Raspberry. Database sistem menggunakan InfluxdB yang terhubung dengan Grafana. Diagram alir perancangan perangkat lunak ditunjukkan pada **Gambar 3.4** berikut.



Gambar 3.4 Diagram Alir Perancangan Perangkat Lunak.

Berdasarkan **Gambar 3.4** tahapan pertama adalah terhubungnya Raspberry Pi 4 dengan jaringan WiFi, selanjutnya Raspberry Pi 4 akan membaca data sensor dan selanjutnya dikirim ke database. Kemudian database akan menampilkan data hasil pengukuran melalui Localhost.

3.3.4 Karakterisasi Sensor

Sebelum sensor digunakan untuk monitoring pengukuran nilai BOD berbasis IoT, sensor akan dikarakterisasi terlebih dahulu agar sensor dapat membaca sesuai dengan alat ukur yang sebenarnya. Pertama melakukan kalibrasi sensor dengan tujuan memperoleh nilai akurasi dan error dari alat yang dibuat kemudian membandingkan hasilnya dengan alat standar. Kemudian untuk mencari nilai error dan akurasi dari pembacaan sensor dengan nilai alat ukur ditunjukkan pada **Persamaan 3.1** dan **Persamaan 3.2**.

$$Error (\%) = \left| \frac{Y - X_n}{Y} \right| \times 100 \% \quad (3.1)$$

$$Akurasi (\%) = \left(1 - \left| \frac{Y - X_n}{Y} \right| \right) \times 100 \% \quad (3.2)$$

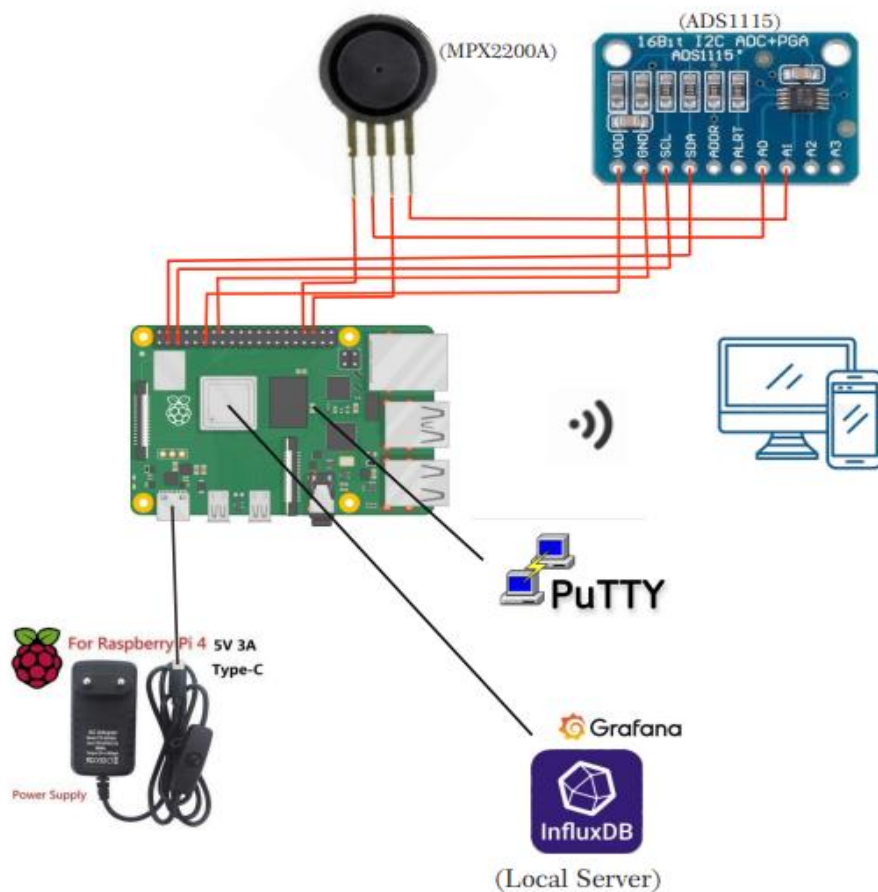
Dimana nilai Y merupakan nilai yang ditunjukkan instrumen standar, nilai X merupakan nilai parameter terukur, nilai X_n merupakan nilai parameter ke-n pada sensor, $\overline{X_n}$ merupakan nilai rata-rata parameter ke-n dan nilai 100% merupakan nilai pengonversian dalam bentuk persen (Nugroho *et al.*, 2020).

Tabel 3.5 Pengujian dan Kalibrasi Sensor MPX2200A.

No	Sensor MPX2200A (kPa)	Alat standar (kPa)	Akurasi (%)	Error (%)
1				
2				
3				
Dst				

3.3.5 Pembuatan Alat

Pada penelitian pengukuran BOD berbasis IoT dengan menggabungkan komponen-komponen sesuai dengan skema rangkaian alat. Ketika alat sesuai kemudian dilakukan pengujian alat untuk memastikan sistem dapat bekerja dengan dengan baik. Setelah berhasil, dilakukan tahap berikutnya. Terdapat skematik alat penelitian ditunjukkan pada **Gambar 3.5** berikut.



Gambar 3.5 Skema Rangkaian Alat.

Berdasarkan **Gambar 3.5** merupakan bentuk rangkaian alat sistem monitoring *Biological Oxygen Demand* (BOD) berbasis IoT pada alat ini pertama menyambungkan power supply ke raspberry pi 4 bertujuan sebagai sumber arus alat, kemudian sensor MPX2200A berfungsi untuk membantu dalam mendapatkan data tekanan yang dapat digunakan dalam berbagai *operating*

sistem, terdapat 4 buah pin yaitu ground, Vout(+), vcc, Vout(-). Maka Vout(+) dan Vout(-) dihubungkan ke analog (A0) dan analog (A1) pada ADS1115, GND terhubung ke GND pada ADS1115, vcc terhubung ke VDD pada ADS1115. Kemudian pin-pin pada raspberry pi4 terhubung ke ADS1115 dari 3.3V power terhubung ke VDD, GPIO2 terhubung ke SDA, GPIO3 terhubung ke SCL, lalu GND terhubung ke GND pada ADS1115.

3.3.6 Pengambilan dan Analisis Data

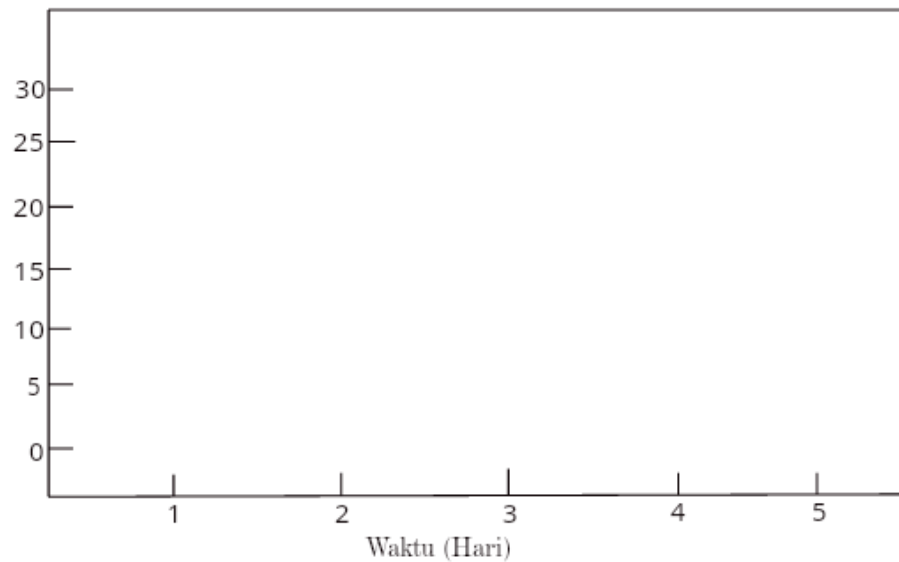
Pengujian alat dilakukan di Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri Bandar Lampung (BSPJI). Pengujian dilakukan 5 hari selama 24 jam, penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan sistem *monitoring* pengukuran BOD berbasis IoT menggunakan sensor MPX2200A dan sistem juga dapat menampilkan hasil *monitoring* nilai BOD ke dalam sebuah tampilan *web* (Grafana). Dengan sistem ini, data BOD dapat dikumpulkan secara *real-time* dan diakses melalui jaringan internet, memungkinkan pemantauan yang lebih efisien dan respons cepat. Pengembangan sistem monitoring ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif dalam upaya pemantauan yang lebih efisien.

Persamaan BOD-5 menggambarkan perubahan konsentrasi oksigen terlarut dalam air dari konsentrasi awal ke konsentrasi akhir selama periode 5 hari, dan ini memberikan indikasi sejauh mana sampel air tercemar oleh bahan organik yang dapat diuraikan oleh mikroorganisme. Pada umumnya, semakin tinggi perbedaan antara konsentrasi awal dan konsentrasi akhir (semakin besar penurunan oksigen), semakin besar pencemarannya oleh bahan organik yang dapat diuraikan (Fadzry *et al.*, 2020). Adapun **Tabel 3.5** Data pengujian BOD berikut.

Tabel 3.6 Data Pengujian BOD.

Waktu (Hari)	Nilai BOD (mg/l)
1	
2	
3	
4	
5	

Data yang diperoleh dari **Tabel 3.5** kemudian diplot kedalam bentuk grafik sehingga dapat diketahui pengukuran nilai BOD. Sehingga menghasilkan rancangan grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 3.6** pada grafik ini menunjukkan perolehan nilai BOD selama 5 (lima) hari.



Gambar 3.6 Perolehan Nilai BOD selama 5 hari.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil pengukuran sistem monitoring rancang bangun alat BOD pada limbah cair menggunakan sensor MPX2200A berbasis *Internet of Things* terdapat kesimpulan sebagai berikut.

1. Sistem monitoring pengukuran BOD berhasil dirancang dan mampu membaca nilai data BOD, sensor MPX2200A didapatkan hasil nilai rata-rata akurasi yaitu 99,98% dan nilai rata-rata *error* yaitu 0,02%. Untuk sistem monitoringnya mampu membaca hasil pengukuran BOD ke dalam *website* (Grafana).
2. Berdasarkan hasil data monitoring yang telah dilakukan didapatkan pada laboratorium BSPJI Bandar Lampung menunjukkan bahwa alat ini mampu membaca data dengan akurat dan waktu yang lebih cepat dibandingkan metode konvensional. Selain itu, alat ini mempermudah pemantauan secara *real-time*, sehingga memungkinkan dalam memonitoring dalam jarak jauh (tanpa harus meninjau berulang-ulang ke lab uji).

5.2 Saran

Saran pada penelitian selanjutnya adalah dengan menggunakan *push button* dengan fitur tombol otomatisasi dapat mempermudah proses operasional, sehingga hanya perlu menekan tombol untuk memulai seluruh proses tanpa perlu mengetik perintah.

DAFTAR PUSTAKA

- Alpha, F., Tunggul, A., Haji, S., & Suharto, B. (2013). Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah PT Surabaya Industrial Estate Rungkut *Management of Pasuruan Industrial Estate Rembang Performance Evaluation of Wastewater Treatment Plant PT Surabaya Rembang. Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 72, 18–26.
- Amaro, N. (2017). Sistem Monitoring Besaran Listrik Dengan Teknologi IoT (Internet of Things). *Jurnal Teknik*. 5-8.
- Andika, B., Wahyuningsih, P., & Fajri, R. (2020). Penentuan Nilai BOD dan COD Sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah Di Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Medan. *Jurnal Kimia Sains Dan Terapan*, 2(1), 14–22.
- Ariesmayana, A., Pangesti, F. S. P., & Sabil, B. H. I. (2022). Analisa Air Sungai Cibanten sebagai Sumber Air Baku Perusahaan Daerah Air Minum. *Jurnal Serambi Engineering*, 7(4), 4001–4006.
- Dawud, M., Namara, I., Chayati, N., & Taqwa, F. M. L. (2016). Analisis Sistem Pengendalian Pencemaran Air Sungai Cisadane Kota Tangerang Berbasis Masyarakat. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*, 1(1), 1–8.
- Dihni, V. A. (2022). *Pencemaran Air Terjadi di 10 Ribu Desa/Kelurahan Indonesia*. Diakses pada 18 Oktober 2023, dari <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/03/24/pencemaran-airterjadi-di-10-ribu-desakelurahan-indonesia>
- Fadzry, N., Hidayat, H., & Eniati, E. (2020). Analisis COD, BOD dan DO pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Balai Pengelolaan Infrastruktur Air Limbah dan Air Minum Perkotaan Dinas PUP-ESDM Yogyakarta. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 5(2), 80–89.
- Hasanah, U., Wildan, M., & Tohazen, T. (2022). Sistem Kendali dan Pemantauan Peralatan Navigasi Penerbangan Non-Directional Beacon Tipe ND200S

- Menggunakan Nodemcu ESP8266 Berbasis Internet of Thing. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional)*, 8(1), 67
- Ibnul Hakim, M., & Putra, Y. H. (2013). PEMANFAATAN MINI PC RASPBERRY PI SEBAGAI PENGONTROL JARAK JAUH BERBASIS WEB PADA RUMAH. *Jurnal Teknik Komputer*, 1–6.
- Iswanto, I., Hunaini, F., & Effendy, D. U. (2023). Prototype Monitoring and Controlling of Wastewater Treatment Plant (WWTP) on IoT-Free Output Channels JEEE-U (*Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA*), 7(1), 40–63.
- Jouanneau, S., Recoules, L., Durand, M. J., Boukabache, A., Picot, V., Primault, Y., & Thouand, G. (2014). Methods for assessing Biological Oxygen Demand (BOD): A review. *Water research*, 49, 62-82. France.
- Junando, A., Musnansyah, A., & Witarsyah, D. (2019). Information Dashboard Untuk Monitoring Kualitas Air di Sungai Citarum Secara Real-time Dengan Penggunaan Sistem Telemetry. *EProceedings of Engineering*, 6(2), 8010–8018.
- Karavakis, E., & Aimar, A. (2016). Kibana, Grafana and Zeppelin on Monitoring data (Issue August). <https://doi.org/10.5281/zenodo.61079>
- Kholif, M. AL. (2020). Pengelolaan Air Limbah Domestik. SCOPINDO Media.
- Kumar, S., Sani, R., & Yadav, Y. (2016). Conference Proceedings of the Second International conference on Recent Advances in Bioenergy Research. Springer Nature.
- Machdar, I. (2018). Pengantar Pengendalian Pencemaran: Pencemaran Air, Pencemaran Udara, dan Kebisingan (1st ed.). DEEPUBLISH.
- Maslyawan, B. A., Nurcahyo, S., & Murtono, A. (2021). Sistem Monitoring Konsumsi Daya Listrik Pada Kamar Kost Serta Estimasi Biaya Keluaran Berbasis IoT (Internet of Things). *Jurnal Elektronika Dan Otomasi Industri*, 8(2), 76.
- Mays, L. W. (1996). *Water Resources Handbook*. McGraw-Hill.
- Nasution, H. A., & Sihombing, A. T. (2017). *Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dalam Air Sungai Silau di Kota Kisaran*. 1(1), 1–11.

- Novelan, M. S., Syahputra, Z., & Putra, P. H. (2020). Sistem Kendali Lampu Menggunakan NodeMCU dan Mysql Berbasis IoT (Internet of Things). *Jurnal Nasional Informatika Dan Teknologi Jaringan*, 5(1), 117–121.
- Noviyanto, A. H. (2016). Pengkondisi Sinyal Dan Akuisisi Data Sensor Tekanan Mpxm2053Gs, Mpx53Dp, Mpx2100Dp, dan Mpx2200Dp. *Jurnal Penelitian*, 19(2), 164–172.
- Novrizaldi, M. A., Pangaribuan, P., & Pramudita, B. A. (2022). Perancangan Alat Monitoring Tekanan Udara di Dalam Ban Kendaraan Bermotor Roda Empat Menggunakan Sensor Tekanan Udara Berbasis Arduino. *Journal of Engineering*, 9(3), 1–11.
- Nugroho, C. P., Yuniarti, E., & Hartono, A. (2020). Alat Pengukur Saturasi Oksigen Dalam Darah Menggunakan Metode Photoplethysmograph Reflectance. *Journal of Materials, Science, Geophysics, Instrumentation and Theoretical Physics*. 3(11). 84-93.
- Pangestika, M. A. (2017). Implementasi Raspberry Pi Sebagai Pengubah Suara Menjadi Teks. Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Paryanto, P., & Subarkah, R. (2022). Perancangan Prototype dan Evaluasi Alat Pemantauan Air Limbah Industri Berbasis IoT. *Jurnal Rotasi*, 24(1), 50–57.
- Paulus, J. J. (2020). Buku Ajar Pencemaran Laut. Deepublish Publisher.
- Pratama, W. Y. (2019). Rancang Bangun Sistem Kontrol Dan Monitoring Pengolahan Air Limbah Berbasis Raspberry Pi. *Universitas Mercu Buana Jakarta*.
- Prayitno, A. (2009). Uji Bakteriologi Air Baku Dan Air Siap Konsumsi. *Universitas Muhammadiyah Surakarta*. <http://eprints.ums.ac.id/3821/>
- Putra, A. Y., & Yulia, P. A. R. (2019). Kajian Kualitas Air Tanah Ditinjau dari Parameter pH, Nilai COD dan BOD pada Desa Teluk Nilap Kecamatan Kubu Babussalam Rokan Hilir Provinsi Riau. *Jurnal Riset Kimia*, 10(2), 103–109.
- Radhi, T., Fitrah, M., & Nurdin, Y. (2021). Rancangan Bangun Pengembangan Pintu Otomatis Pendeteksi Masker dan Suhu Tubuh Menggunakan. *Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, dan Elektro*, 6(2), 7–14.

- Rame, & Purwanto, A. (2021). Analisis BOD dan Peringatan Dini Berbasis Biosensor Untuk Pemantauan Kualitas Air. *Jurnal Teknik*, 6, 71–75.
- Rahima, F. N., & Widayatno, T. (2020). Penurunan Kadar COD, BOD, dan TSS Limbah Cair Pabrik Tahu Dengan Metode Elektrokoagulasi Secara Kontinyu Menggunakan Elektroda Besi. *Jurnal Proceeding of The Urecol*, 72–78.
- Rahman, D., Amnur, H., & Rahmayuni, I. (2020). Monitoring Server dengan Prometheus dan Grafana serta Notifikasi Telegram. JITSI: *Jurnal Ilmiah Teknologi Sistem Informasi*, 1(4), 133–138.
- Surya, I. W., & Sunarsih, S. (2018). Facultative Stabilization Pond: Measuring Biological Oxygen Demand using Mathematical Approaches. *E3S Web of Conferences*, 31, 1–4.
- Santoso, A. D. (2018). Keragaan Nilai DO, BOD dan COD di Danau Bekas Tambang Batu bara Behavior of DO, BOD and COD Value at Coal Mine Void. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(1), 89–96.
- Syamsul Arifin, M. (2018). Rancang Bangun Komputer Hemat Energi Menggunakan Raspbian Berbasis Raspberry Pi Pada STMIK Musi Rawas Lubuk Linggau. *Jurnal Sistem Komputer Musirawas*, 3(1), 45–50.
- Wahyudi, W. T., Karyanto, S., Si, M. T., Antosia, M., & Si, S. (2016). Rancang Bangun Alat Resistivitas Berbasis Arduino Menggunakan Modul ACS712 dan ADS1115. *Jurnal Teknik*, 1–7.
- Wijaya, I. D., Nurhasan, U., & Barata, M. A. (2017). Implementasi Raspberry Pi Untuk Rancang Bangun Sistem Keamanan Pintu Ruang Server Dengan Pengenalan Wajah Menggunakan Metode Triangle Face. *Jurnal Informatika Polinema*, 4, 9–16.
- Zulfahmi, S. M. (2019). Testing Real-Time Applications on Windows 10 IOT Using the Nyquist Theory. *Journal of Physics*, 012066. 1-6.