



Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA)

Homepage: sinta.eng.unila.ac.id



Sistem *Internet of Things* (IoT) untuk Pengendalian Oksigen Terlarut dalam Upaya Peningkatan Kualitas Lingkungan Tambak Lobster

Herlinawati^a, Muhammad Ifan Saputra^{b,*}, Meilinda Putri^b

^a Mahasiswa Doktoral Ilmu Lingkungan, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Lampung, Indonesia

^b Teknik Elektro, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Lampung, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima 12/11/2025

Direvisi 12/12/2025

Kata kunci:

Internet of Things (IoT)

Oksigen Terlarut

Mappi32

LoRa

Tambak Lobster

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem *Internet of Things* (IoT) guna mengendalikan kadar oksigen terlarut (*dissolved oxygen* atau *DO*) pada tambak lobster sebagai upaya peningkatan kualitas lingkungan perairan. Sistem dirancang menggunakan sensor *DO* sebagai pendeteksi utama yang diintegrasikan dengan mikrokontroler MAPPi32. Data hasil pengukuran dikirim melalui modul *Long Range* (LoRa) dan diunggah ke platform *ThingSpeak* untuk pemantauan daring secara *realtime*. Sistem terdiri atas dua unit utama, yaitu unit pengirim data yang berfungsi mengukur dan mengirimkan nilai *DO*, serta unit penerima data yang memproses hasil pengukuran dan mengendalikan aktuator berupa *relay* dan kontaktor untuk mengoperasikan aerator secara otomatis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berfungsi sesuai rancangan, di mana aerator aktif secara otomatis ketika kadar *DO* < 6 mg/L dan berhenti saat *DO* > 8 mg/L. Sensor *DO* memiliki selisih pengukuran rata-rata sebesar 0,24 mg/L, dengan tingkat kesalahan 5,60% dan akurasi 94,39%. Implementasi sistem IoT ini memungkinkan pengelolaan oksigen terlarut secara efisien, akurat, dan adaptif terhadap perubahan kondisi perairan, sehingga mampu menjaga kualitas lingkungan tambak tetap optimal untuk mendukung pertumbuhan dan kelangsungan hidup lobster.

1. Pendahuluan

Budidaya lobster merupakan salah satu sektor perikanan bernilai ekonomi tinggi yang memerlukan pengelolaan kualitas lingkungan perairan secara optimal. Salah satu parameter utama yang menentukan keberhasilan budidaya lobster adalah kadar oksigen terlarut (*dissolved oxygen* atau *DO*) dalam air. Kadar *DO* yang rendah dapat menurunkan laju pertumbuhan, menghambat proses metabolisme, serta meningkatkan risiko kematian pada organisme budidaya (Suryaningrum et al., 2021). Oleh karena itu, pemantauan dan pengendalian kadar oksigen terlarut

secara tepat, berkelanjutan, dan adaptif menjadi faktor penting dalam menjaga stabilitas ekosistem tambak lobster.

Pada sistem budidaya konvensional, pemantauan kualitas air umumnya masih dilakukan secara manual dan periodik. Metode tersebut tidak mampu menyediakan informasi kondisi perairan secara *realtime*, sehingga penurunan kadar oksigen sering kali terlambat terdeteksi (Hidayat et al., 2022). Akibatnya, tindakan pengendalian seperti pengoperasian aerator menjadi kurang optimal, yang berdampak pada penurunan efisiensi produksi serta degradasi kualitas lingkungan tambak (Rahman et al., 2023).

* Penulis korespondensi.

E-mail: muhammadifans@eng.unila.ac.id

Perkembangan teknologi *Internet of Things (IoT)* membuka peluang besar untuk mengatasi permasalahan tersebut melalui integrasi sensor, sistem komunikasi data, dan aktuator otomatis. Penerapan *IoT* dalam bidang akuakultur memungkinkan pemantauan kualitas air secara daring dan *realtime*, pengendalian perangkat jarak jauh, serta pengambilan keputusan berbasis data (Zhou et al., 2020). Beberapa penelitian sebelumnya telah menerapkan *IoT* untuk pemantauan parameter kualitas air seperti suhu, pH, dan kekeruhan (Putra et al., 2022; Nguyen et al., 2023). Namun demikian, penerapan sistem otomatis berbasis *IoT* yang difokuskan pada pengendalian kadar oksigen terlarut di tambak lobster, khususnya pada lingkungan tropis, masih sangat terbatas.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem *IoT* cerdas yang mampu memantau dan mengendalikan kadar oksigen terlarut pada tambak lobster secara otomatis dan *realtime*. Sistem ini menggunakan sensor *DO* yang diintegrasikan dengan mikrokontroler MAPPI32, serta dikombinasikan dengan modul *Long Range (LoRa)* untuk mengirimkan data ke platform *ThingSpeak* sebagai media pemantauan daring.

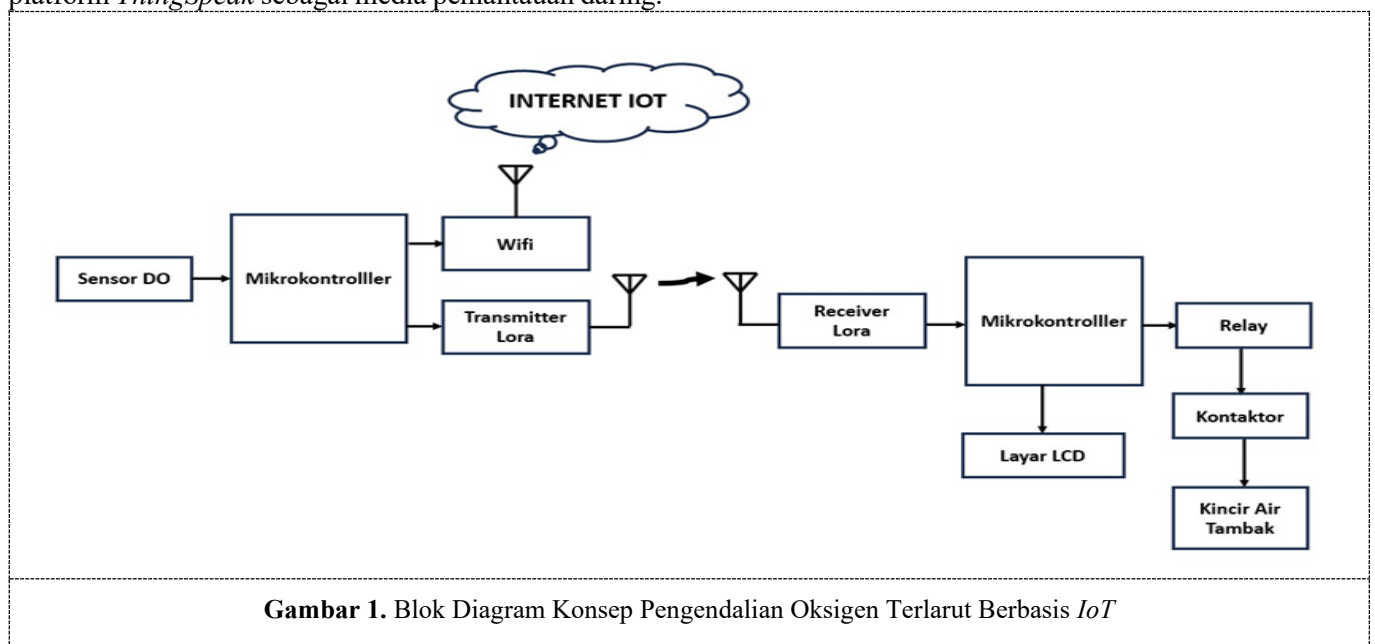
Aktuator berupa relay dan kontaktor dikendalikan secara otomatis untuk mengoperasikan aerator berdasarkan kondisi aktual kadar *DO* di perairan tambak.

Melalui pengembangan sistem ini, diharapkan diperoleh solusi pengelolaan oksigen terlarut yang efisien, akurat, dan adaptif terhadap dinamika lingkungan perairan. Implementasi sistem *IoT* ini diharapkan mampu meningkatkan kualitas lingkungan tambak sekaligus mendukung keberlanjutan produksi lobster secara optimal.

2. Metodologi

2.1. Rancangan Sistem

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan merancang dan mengimplementasikan prototipe sistem pengendali oksigen terlarut berbasis *Internet of Things (IoT)* pada tambak lobster. Konsep umum rancangan sistem ditunjukkan pada Gambar 1.



Sistem yang dikembangkan terdiri atas dua unit utama, yaitu unit pemancar (*transmitter*) dan unit penerima (*receiver*) yang terhubung melalui komunikasi *Long Range (LoRa)* serta jaringan *IoT* berbasis *WiFi*.

1. Unit pemancar (*Transmitter*) berfungsi untuk mengukur kadar oksigen terlarut (*DO*) menggunakan sensor *DO* yang terhubung dengan mikrokontroler MAPPI32. Data hasil pengukuran dikirim melalui dua jalur komunikasi:

a) Jaringan *WiFi (IoT)* untuk mengunggah data ke platform *ThingSpeak* sebagai media pemantauan daring secara *realtime*.

b) Modul *LoRa* untuk mentransmisikan data jarak jauh antar perangkat secara lokal tanpa ketergantungan pada koneksi internet.

2. Unit penerima (*receiver*) berfungsi menerima data *DO* yang dikirim melalui modul *LoRa*, menampilkan hasil pengukuran pada LCD, serta mengendalikan aktuator berupa relay dan kontaktor untuk mengoperasikan aerator secara otomatis sesuai kondisi kadar oksigen.

Sistem bekerja dengan logika kendali umpan balik tertutup (*closed loop control*) yang bersifat adaptif terhadap perubahan kadar *DO* di perairan. Ketika nilai $DO < 6$ mg/L, sistem akan mengaktifkan aerator secara

otomatis melalui *relay* dan kontaktor. Sebaliknya, ketika nilai $DO > 8$ mg/L, sistem akan mematikan aerator untuk mencegah kelebihan oksigen. Mekanisme ini menjaga kadar oksigen terlarut dalam kisaran optimal bagi pertumbuhan dan kelangsungan hidup lobster.

2.2. Desain Perangkat Keras

Perangkat keras sistem terdiri atas dua bagian utama, yaitu:

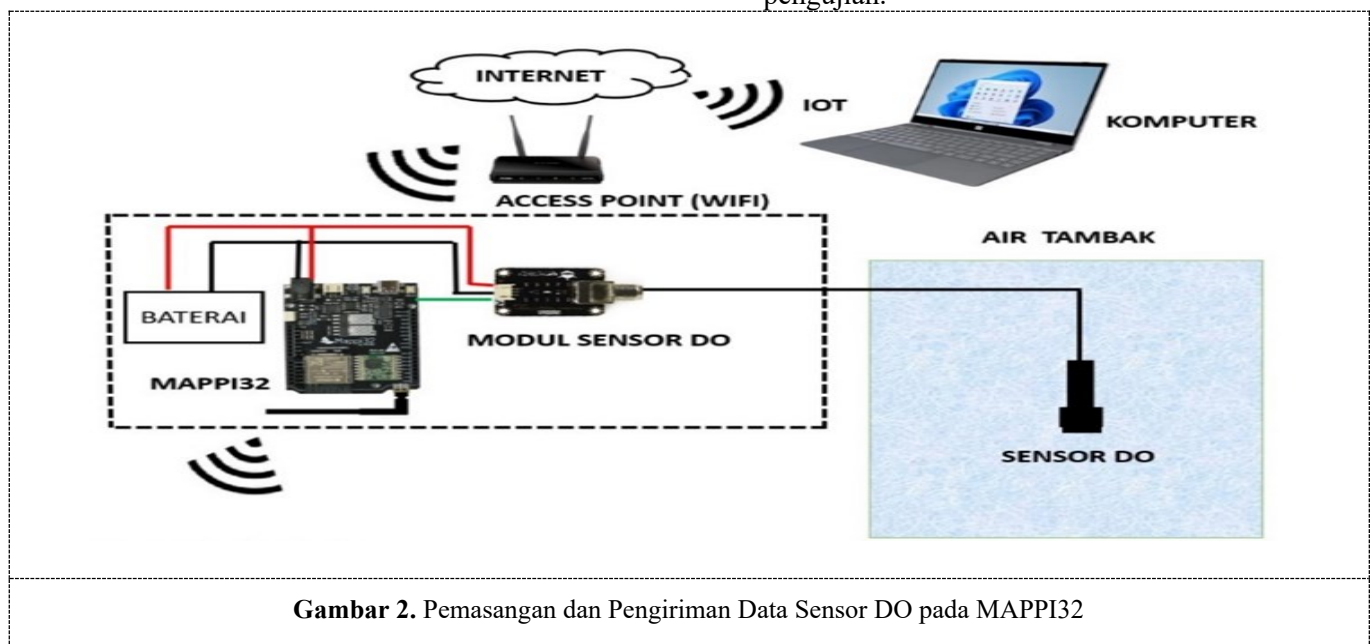
1. Skenario Pengiriman Data Sensor DO (Transmitter)

Sensor DO dihubungkan ke *port input* mikrokontroler MAPPI32 sebagai pusat pengolahan data. Proses diawali dengan inisialisasi pin komunikasi *LoRa*, konfigurasi koneksi *WiFi*, serta

pengaturan kanal komunikasi ke platform *ThingSpeak*. Setelah koneksi berhasil, mikrokontroler membaca nilai DO dari sensor yang dicelupkan ke air tambak. Data hasil pengukuran dikirim secara simultan melalui dua jalur komunikasi:

- Ke *ThingSpeak*, untuk pemantauan kondisi oksigen secara daring (*realtime monitoring*), dan
- Ke Modul *LoRa*, untuk transmisi data lokal ke unit penerima tanpa ketergantungan pada koneksi internet.

Hasil pembacaan sensor juga ditampilkan melalui *serial monitor* untuk mendukung proses kalibrasi dan evaluasi kinerja sensor selama tahap pengujian.



Gambar 2. Pemasangan dan Pengiriman Data Sensor DO pada MAPPI32

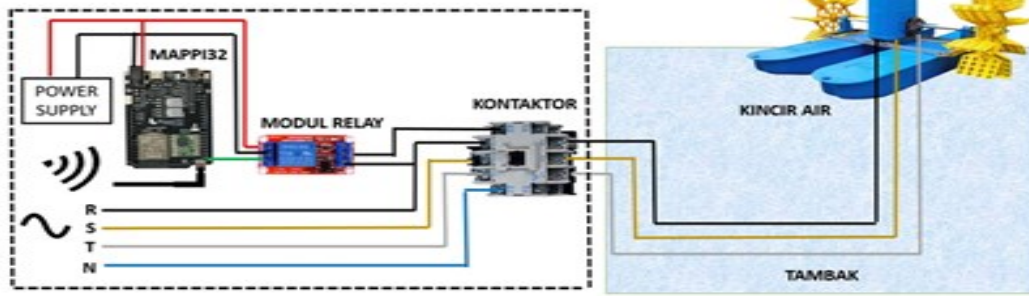
2. Skenario Penerimaan Data dan Pengendalian Aktuator (*receiver*)

Pada tahap ini, mikrokontroler MAPPI32 berfungsi sebagai unit penerima (*receiver*) yang menerima data DO dari modul *LoRa transmitter*. Nilai DO yang diterima kemudian ditampilkan pada layar LCD untuk memberikan informasi kondisi terkini.

Sistem pengendalian menggunakan logika ambang batas (*threshold logic*), di mana:

- Relay* dan kontaktor aktif (aerator *ON*) ketika kadar $DO < 6$ mg/L.
- Relay* dan kontaktor nonaktif (aerator *OFF*). Ketika kadar $DO > 8$ mg/L.

Informasi nilai DO dan status aerator ditampilkan secara *realtime* melalui LCD. Sistem bekerja secara *closed loop*, dengan mikrokontroler sebagai pusat pengendali adaptif yang merespons perubahan kadar oksigen berdasarkan umpan balik sensor.

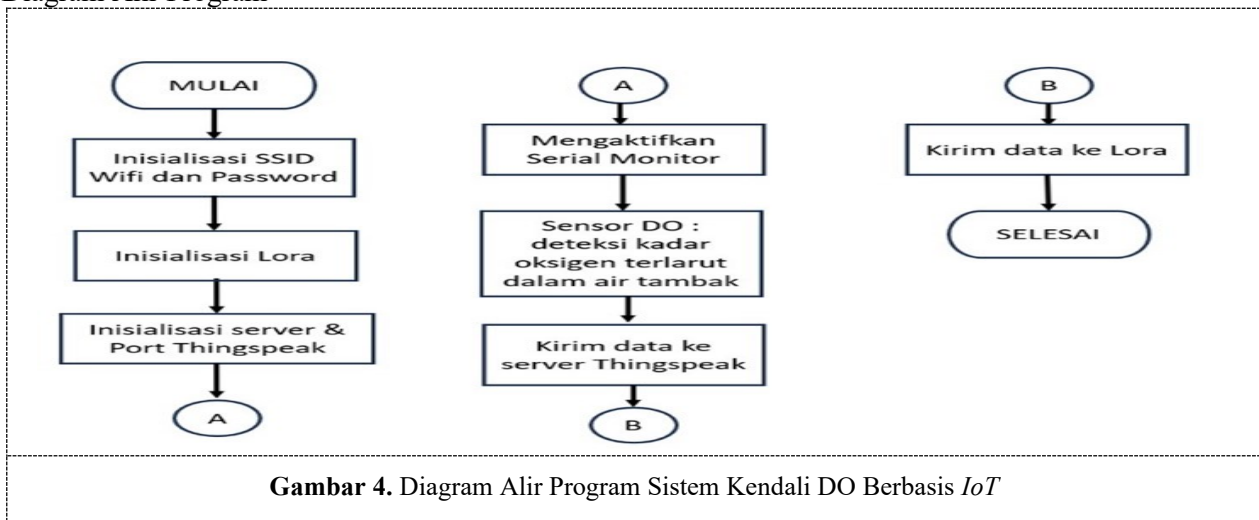


Gambar 3. Pemasangan relay, kontaktor, LCD, dan receiver LoRa pada MAPPI32

2.3 Desain Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak sistem mencakup tiga komponen utama, yaitu:

1. Diagram Alir Program



Gambar 4. Diagram Alir Program Sistem Kendali DO Berbasis IoT

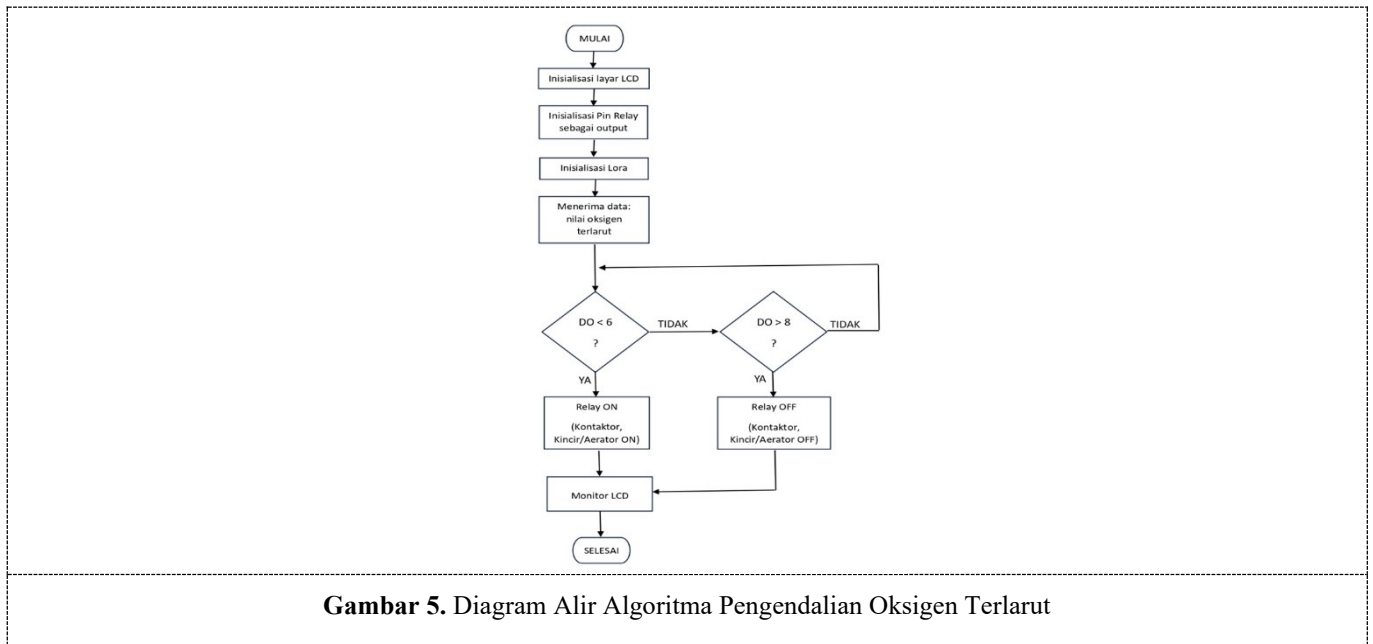
Tahapan operasi sistem adalah sebagai berikut:

- Inisialisasi sistem: pengaturan komunikasi *WiFi*, modul *LoRa*, dan koneksi *ThingSpeak*.
- Pembacaan sensor *DO*: Sensor aktif untuk mengukur kadar oksigen terlarut dan menyimpan hasil dalam variabel *DO value*.
- Pengiriman data: Nilai *DO* dikirim ke *ThingSpeak* melalui *WiFi* dan receiver melalui *LoRa*.
- Penerimaan data: receiver menampilkan hasil pada LCD.
- Kendali otomatis: sistem menjalankan logika kendali sesuai algoritma.
- Looping*: sistem beroperasi terus menerus untuk menjaga kestabilan *DO*.

2. Algoritma Kendali Oksigen Terlarut (*DO*)

Logika kendali menggunakan pendekatan *threshold control* untuk menjaga kadar *DO* dalam rentang optimal. Tahapan algoritma:

- Membaca nilai *DO* aktual (*DO_sensor*).
- Membandingkan dengan batas ambang:
 - Jika $DO_sensor < 6 \text{ mg/L} \rightarrow \text{Relay ON}$, aerator menyala.
 - Jika $DO_sensor > 8 \text{ mg/L} \rightarrow \text{Relay OFF}$, aerator berhenti.
- Menampilkan nilai *DO* dan status aerator pada LCD serta mengirimkan data ke *ThingSpeak*.
- Proses kendali dilakukan berulang secara dinamis terhadap perubahan kondisi perairan.



3. Integrasi *IoT* dengan Platform *Thingspeak*

Fungsi utama MAPPI32 adalah membaca nilai sensor *DO*, memproses data, dan mengirimkannya ke *ThingSpeak* serta *LoRa*. Langkah-langkah integrasi sistem :

- Inisialisasi SSID dan *Password WiFi*
Mikrokontroler dikonfigurasi sebagai *client* untuk menghubungkan sistem ke jaringan internet.

```

const char *ssid = "Meilindaa P";
const char *pass = "meilindaal4";
int status = WL_IDLE_STATUS;
WiFiClient client;
  
```

Gambar 6. Program Inisialisasi SSID dan *Password WiFi*

- Inisialisasi *LoRa*
Modul *LoRa* dikonfigurasi pada frekuensi 923 MHz dengan *sync word* (0xF3) agar *transmitter* dan *receiver* tersinkronisasi.

```

#define nss 15
#define rst 0
#define dio0 27
#define misso 12
#define mosi 13
#define sck 14

SPI.begin(sck, misso, mosi, nss);
LoRa.setPins(nss, rst, dio0);
while (!Serial);
Serial.println("LoRa Sender");
if (!LoRa.begin(923E6)) {
  Serial.println("Starting LoRa failed!");
}
LoRa.setSyncWord(0xF3);
  
```

Gambar 7. Program Inisialisasi *LoRa*

- Inisialisasi server *ThingSpeak*
Koneksi dibuat menggunakan *API Key* dan *port* 80 ke server *api.thingspeak.com* ditampilkan melalui *serial monitor*.

```

String apiKey = "9LJY2XQTE4V5223";
char server[ ] = "api.thingspeak.com";
const int port = 80;
int status = WL_IDLE_STATUS;
  
```

Gambar 8. Program inisialisasi server *Thingspeak*

- Pembacaan nilai sensor *DO*

Sensor *DO* diatur pada mode *input*, dan hasil pembacaan disimpan dalam variabel *NILAISENSOR*.

```
pinMode(SENSOR, INPUT);

NILAISENSOR = analogRead(SENSOR);
```

Gambar 9. Program Pembacaan Nilai Sensor *DO*

- e) Pengiriman Data *DO* ke *Thingspeak*
Jika koneksi internet aktif, data dikirim ke server dan dikonfirmasi melalui pesan “*SENDED*” pada *serial monitor*.

```
if (!client.connect(server, port)) {
  Serial.println("No connection");
  while (!client.connect(server, port)){
    Serial.print(".");
    delay(1000);}
  return; }
else if (client.connect(server, port)){
  String dataStr = apiKey;
  dataStr += "%field1=";
  dataStr += Oksigen;
  dataStr += "%field2=";
  dataStr += "\r\n\r\n";
  client.print("POST /update HTTP/1.1\n");
  client.print("Host: api.thingspeak.com\n");
  client.print("Connection: close\n");
  client.print("X-THINGSPEAKAPIKEY: " + apiKey + "\n");
  client.print("Content-Type: application/x-www-form-urlencoded");
  client.print("Content-Length: ");
  client.print(dataStr.length());
  client.print("\n\n");
  client.print(dataStr);
  while (!client.available());
  while (client.available()) {
    char c = client.read();
    Serial.write(c); }
  Serial.println();
  Serial.println("DATA STRING =");
```

Gambar 10. Program Pengiriman Data *DO* ke *Thingspeak*

- f) Pengiriman Data melalui *LoRa*
Data hasil pembacaan sensor dikirim secara lokal melalui *LoRa* setelah disimpan dalam variabel *NILAISENSOR*.

```
NILAISENSOR = analogRead(SENSOR);
LoRa.beginPacket();
LoRa.print(NILAISENSOR);
LoRa.endPacket();
```

Gambar 11. Program Pengiriman Data *LoRa*

Integrasi ini memungkinkan sistem beroperasi secara hybrid yaitu online melalui *ThingSpeak* untuk pemantauan daring dan offline melalui *LoRa* untuk kendali lokal, sehingga sistem tetap berfungsi meskipun terjadi gangguan koneksi internet

3. Hasil dan pembahasan

3.1 Implementasi Sistem

Prototipe sistem pengendalian oksigen terlarut berbasis *Internet of Things (IoT)* telah berhasil diimplementasikan pada tambak percobaan berukuran 3 × 4 meter dengan kedalaman 1 meter. Sistem terdiri atas dua unit utama, yaitu unit pengirim (*transmitter*) yang membaca kadar oksigen terlarut (*DO*) melalui sensor *DO*, dan unit penerima (*receiver*) yang mengendalikan aktuator berupa *relay* dan kontaktor untuk mengoperasikan aerator.

Sensor *DO* ditempatkan di tengah kolam pada kedalaman ±50 cm untuk memperoleh data representatif. Nilai hasil pengukuran dikirim secara simultan melalui modul *LoRa* ke unit penerima dan melalui jaringan *WiFi* ke platform *ThingSpeak* untuk pemantauan daring secara *real time*. Sistem dikonfigurasi agar aerator menyala otomatis saat *DO* < 6 mg/L dan berhenti saat *DO* > 8 mg/L.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berfungsi stabil di berbagai kondisi lingkungan, siang maupun malam hari. Data *DO* dapat dikirim secara kontinu tanpa kehilangan data (*data loss*) melalui *LoRa* maupun *ThingSpeak*.

3.2 Hasil Pengukuran *DO* Sebelum dan Sesudah Aktivasi Sistem

Untuk menilai efektivitas sistem, dilakukan pengukuran kadar oksigen terlarut sebelum dan sesudah aktivasi sistem *IoT* selama tiga hari berturut-turut pada jam 06.00, 12.00, 18.00, dan 24.00.

Tabel 1. Konsentrasi *DO* rata-rata sebelum dan sesudah aktivasi sistem *IoT* pengendali aerator

Waktu Pengamatan	<i>DO</i> Sebelum Aktivasi (mg/L)	<i>DO</i> Sesudah Aktivasi (mg/L)	Kenaikan (mg/L)
06.00	4.82	6.45	+1.63
12.00	7.21	7.86	+0.65
18.00	5.37	6.98	+1.61
24.00	4.65	6.28	+1.63

Rata-rata	5.51	6.89	+1.38	
-----------	------	------	-------	--

Hasil pada Tabel 1. menunjukkan bahwa sistem mampu meningkatkan konsentrasi *DO* rata-rata sebesar 1,38 mg/L. Setelah aktivasi, nilai *DO* berada pada rentang optimal (6–8 mg/L) sesuai standar kualitas air untuk budidaya lobster laut tropis (Suryaningrum et al., 2021).

Kadar *DO* terendah terjadi pada dini hari (24.00–06.00) akibat penurunan aktivitas fotosintesis dan peningkatan konsumsi oksigen oleh organisme. Aktivasi otomatis aerator pada periode tersebut terbukti efektif menjaga kestabilan *DO* dan mencegah kondisi hipoksia.

3.3 Analisis Kinerja Sensor dan Sistem Kendali

Sensor *DO* menunjukkan tingkat keandalan tinggi dengan selisih pengukuran rata-rata 0,24 mg/L dibanding alat referensi, dan tingkat kesalahan 5,60% (akurasi 94,39%).

Hasil uji komunikasi data menunjukkan performa sistem yang baik:

- Kecepatan pengiriman data *LoRa*: 1 data/3 detik, jangkauan efektif ± 150 meter tanpa halangan.
- Keterlambatan unggahan *ThingSpeak*: rata-rata 2–3 detik/paket data.
- Kehilangan data (*packet loss*): < 2% selama 3 jam pengamatan kontinu.

Pemantauan *real time* pada platform *ThingSpeak* menunjukkan bahwa sistem memberikan respons kendali cepat. Ketika *DO* turun di bawah 6 mg/L, aerator aktif otomatis hingga kadar *DO* mencapai *closed loop adaptif* dengan umpan balik *realtime* dari sensor *DO*.

3.4 Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan sistem *IoT* ini efektif dalam menjaga kualitas lingkungan tambak lobster. Temuan utama meliputi:

- Efisiensi Pemantauan dan Respons Adaptif Integrasi sensor *DO*, *LoRa*, dan *ThingSpeak* memungkinkan pemantauan kontinu dan kendali otomatis tanpa intervensi manual. Waktu respons sistem rata-rata < 20 detik setelah *DO* turun di bawah 6 mg/L.
- Peningkatan Kualitas Lingkungan Tambak Kestabilan *DO* pada kisaran 6–8 mg/L menjaga kondisi perairan tetap optimal bagi metabolisme dan pertumbuhan lobster, serta mengurangi risiko stres dan kematian.
- Efisiensi Energi dan Operasional Pengendalian berbasis ambang batas mengurangi waktu operasi aerator hingga $\pm 30\%$, sehingga meningkatkan efisiensi energi dan biaya operasional dibandingkan pengoperasian manual terus-menerus.

- Kinerja *IoT* dan Komunikasi Data Kombinasi komunikasi *LoRa* dan *WiFi* (*ThingSpeak*) memungkinkan sistem beroperasi secara ganda (lokal dan daring), menjadikannya andal di area dengan akses internet terbatas.
- Keterbatasan Sistem Akurasi dapat dipengaruhi suhu dan salinitas air. Kalibrasi rutin dan kompensasi diperlukan untuk meningkatkan keandalan pengukuran lapangan.

4. Kesimpulan

4.1 Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem *Internet of Things* (*IoT*) berbasis mikrokontroler MAPPI32 untuk pengendalian otomatis kadar oksigen terlarut (*DO*) pada tambak lobster. Sistem ini mengintegrasikan sensor *DO*, modul *LoRa*, aktuator aerator, serta platform *ThingSpeak* untuk pemantauan dan kendali jarak jauh secara *realtime*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa:

- Sistem mampu meningkatkan konsentrasi *DO* rata-rata sebesar 1,38 mg/L, dari 5,51 mg/L menjadi 6,89 mg/L setelah aktivasi sistem.
- Sensor *DO* memiliki akurasi 94,39% dengan selisih rata-rata pengukuran 0,24 mg/L terhadap alat referensi.
- Sistem kendali otomatis menjaga kestabilan *DO* pada rentang 6–8 mg/L, sesuai standar kualitas air optimal untuk budidaya lobster laut tropis.
- Mekanisme kendali *closed-loop* dengan ambang *DO* <6 mg/L dan >8 mg/L terbukti efisien, menghemat energi aerator hingga $\pm 30\%$ dibanding pengoperasian manual.
- Integrasi komunikasi *LoRa* dan *WiFi* menghasilkan keandalan tinggi dengan kehilangan data < 2% baik pada transmisi lokal maupun daring.

Dengan demikian, sistem ini terbukti efektif dan efisien dalam menjaga kualitas lingkungan perairan tambak lobster, sekaligus mendukung budidaya berkelanjutan berbasis teknologi cerdas.

4.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya :

- Kalibrasi dan Kompensasi Suhu Otomatis Diperlukan pengembangan sistem sensor dengan kemampuan kalibrasi otomatis dan kompensasi suhu untuk meningkatkan akurasi pengukuran pada kondisi perairan yang dinamis.
- Integrasi Parameter Lingkungan Lain

Sistem dapat dikembangkan dengan penambahan sensor pH, suhu, salinitas, dan kekeruhan agar mampu memberikan analisis kualitas air yang lebih komprehensif.

3. Penerapan Logika *Fuzzy* atau Kecerdasan Buatan (*AI*)

Pengendalian aerator dapat dioptimalkan menggunakan logika *fuzzy* atau algoritma pembelajaran mesin untuk menghasilkan keputusan adaptif terhadap dinamika lingkungan tambak.

4. Uji Skalabilitas dan Ketahanan Lapangan

Disarankan pengujian lanjutan pada skala tambak lebih besar dan periode lebih panjang untuk mengevaluasi performa sistem terhadap variasi cuaca, suhu, dan aktivitas biologis.

5. Integrasi *Dashboard* dan Sistem Peringatan Dini

Untuk meningkatkan kemudahan pemantauan, sistem dapat dilengkapi dashboard *Node RED* interaktif serta fitur peringatan dini berbasis *telegram bot* atau *SMS gateway* bila kadar *DO* melewati ambang kritis

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Lampung atas dukungan pendanaan penelitian ini melalui skema Penelitian Unggulan DIPA BLU Universitas Lampung.

Daftar Pustaka

Ariyanto, D., Wibowo, S., & Yuniarno, E. M. (2022). Design and implementation of IoT-based dissolved oxygen control system for aquaculture ponds using fuzzy logic. *Journal of Aquaculture Engineering and Fisheries Research*, 8(3), 287–298. <https://doi.org/10.3153/JAEFR22025>

Ardiansyah, M., Pratama, D., & Siregar, A. (2022). Rancang bangun sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT menggunakan NodeMCU dan sensor multisensor. *Jurnal Teknologi dan Sistem Terkini*, 10(3), 145–152.

Chatziantoniou, A., et al. (2022). Dissolved oxygen estimation in aquaculture sites using remote sensing and machine learning. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*, 194(4), 286–295.

Fitriani, N., & Arifin, Z. (2020). Kualitas air tambak dan pengaruhnya terhadap pertumbuhan lobster air laut (*Panulirus spp.*). *Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan*, 30(2), 115–123.

Flores-Iwasaki, M., et al. (2025). Internet of Things (IoT) sensors for water quality monitoring in aquaculture systems: A systematic review and

bibliometric analysis (2020–2024). *Sensors*, 25(2), 1123. <https://doi.org/10.3390/s25021123>

Gunawan, D., Prasetyo, A., & Hidayat, T. (2021). Automatic aeration system for maintaining dissolved oxygen in aquaculture pond based on IoT platform. *Journal of Aquaculture Technology*, 9(2), 87–94.

Hidayat, A., Nurhadi, D., & Prasetyo, R. (2022). Perancangan sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT menggunakan sensor multi-parameter. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 14(2), 87–96.

Hidayat, R., Nugroho, A., & Siregar, R. (2022). Smart monitoring system for water quality in shrimp ponds using IoT and LoRa communication. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 10(4), 142–150. <https://doi.org/10.18201/ijisae.2022.142>

Jabbar, W. A., et al. (2024). Development of LoRaWAN-based IoT system for water quality monitoring in rural areas. *Applied Soft Computing*, 153, 110347. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2024.110347>

Jais, N. A. M., et al. (2024). Improved accuracy in IoT-based water quality monitoring for aquaculture tanks. *Sensors*, 24(1), 1089. <https://doi.org/10.3390/s24011089>

Kumar, R., Singh, P., & Chauhan, S. (2022). IoT-based monitoring and automation in aquaculture systems: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, 107045. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107045>

Kurniawan, A. F., et al. (2023). Evaluation of LoRa network performance for water quality monitoring applications. *Applied Sciences*, 14(16), 7136. <https://doi.org/10.3390/app14167136>

Lin, J.-Y., et al. (2021). An integrated wireless multi-sensor system for monitoring aquaculture environment (temperature, pH, DO, EC) using ESP32. *Sensors*, 21(7), 2563. <https://doi.org/10.3390/s21072563>

Liu, H., Zhang, Y., & Chen, X. (2023). Real-time dissolved oxygen control system for aquaculture using IoT and edge computing. *Aquacultural Engineering*, 103, 102282. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2023.102282>

Nguyen, H. T., Tran, D. V., & Le, Q. H. (2023). IoT-based water quality monitoring and control system for aquaculture ponds. *Aquacultural Engineering*, 103, 102319. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2023.102319>

Nguyen, T. L., Tran, H. V., & Pham, N. Q. (2023). IoT-based real-time monitoring system for aquaculture water quality using LoRa and cloud platform. *Computers and Electronics in Agriculture*, 212, 108066. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108066>

- Nurhasanah, E., Putra, D., & Wijaya, A. (2024). Sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT untuk budidaya udang intensif. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 14(1), 45–54.
- Putra, A. D., Nugraha, R., & Sari, D. M. (2022). Implementasi Internet of Things untuk sistem pemantauan kualitas air tambak berbasis NodeMCU. *Jurnal Ilmu Komputer dan Aplikasi*, 10(1), 55–63.
- Putra, G. S., Rahman, A., & Purnomo, E. (2022). Application of IoT technology for water quality monitoring in tropical aquaculture systems. *Aquaculture Reports*, 27, 101366. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101366>
- Rahman, M. A., & Islam, M. S. (2023). Internet of Things (IoT)-based dissolved oxygen control system in aquaculture. *Sensors and Applications in Environmental Monitoring*, 14(5), 112–125.
- Rahman, M. F., Alam, M. J., & Hossain, M. (2023). The influence of dissolved oxygen on growth and survival of marine lobsters. *Journal of Aquaculture Research and Development*, 14(5), 289–298.
- Rahman, M. M., Hasan, M. T., & Lee, S. Y. (2023). Automated aeration control system for aquaculture ponds based on dissolved oxygen prediction using machine learning. *Sensors*, 23(12), 5562. <https://doi.org/10.3390/s23125562>
- Rahman, M., Widodo, S., & Saputra, E. (2023). Optimasi aerasi otomatis pada tambak udang berbasis sensor DO dan mikrokontroler ESP32. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sistem*, 5(1), 22–30.
- Saputra, R., Prasetyo, Y., & Ramadhan, F. (2023). Implementasi sistem pemantauan kualitas air tambak berbasis Internet of Things menggunakan Thingspeak. *Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer*, 8(2), 88–97.
- Sari, D., Nugraha, R., & Lestari, T. (2021). Analisis performa sistem aerasi manual dan otomatis pada tambak budidaya air payau. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 9(1), 33–42.
- Sari, D. M., Nugroho, Y., & Widodo, E. (2022). Optimization of water quality parameters in lobster culture through IoT-based monitoring systems. *Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 18(3), 155–163.
- Shete, R. P., et al. (2024). IoT-enabled real-time water quality monitoring system for aquafarming environments. *Sensors*, 24(3), 2284. <https://doi.org/10.3390/s24032284>
- Sulistyo, W., Santoso, B., & Yulianti, N. (2022). Pengelolaan kualitas air pada budidaya lobster laut di tambak intensif. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 21(3), 150–160.
- Suryaningrum, D., Hartono, T., & Kurniawan, F. (2021). Analisis hubungan oksigen terlarut terhadap pertumbuhan lobster air laut (*Panulirus homarus*). *Jurnal Perikanan Indonesia*, 29(3), 175–182.
- Suryaningrum, D., Widodo, S., & Kusuma, A. (2021). Effect of dissolved oxygen fluctuation on lobster growth performance in tropical pond systems. *Indonesian Journal of Aquatic Sciences*, 6(2), 115–124. <https://doi.org/10.15294/ijas.v6i2.41236>
- Tian, X., Zhao, L., & Chen, J. (2024). Integration of IoT and data analytics for sustainable aquaculture management. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(5), 428. <https://doi.org/10.1007/s10661-024-12456-3>
- Xu, L., et al. (2025). Hybrid deep learning framework for real-time dissolved oxygen prediction in intensive aquaculture. *Scientific Reports*, 15(1), 2274. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-2274>
- Yuliana, R., Handayani, S., & Wibowo, T. (2021). Pengaruh parameter fisika-kimia air terhadap kelangsungan hidup lobster. *Jurnal Perikanan Tropis*, 11(2), 72–80.
- Yunus, A., & Setiawan, I. (2020). Smart aquaculture using microcontroller-based water quality control system. *International Journal of Smart Technology and Aquatic Systems*, 12(1), 44–52.
- Zhou, Y., Chen, X., & Li, J. (2020). Smart aquaculture monitoring using Internet of Things and edge computing. *Sensors*, 20(21), 6077. <https://doi.org/10.3390/s20216077>
- Zhou, Y., Li, X., & Zhang, H. (2020). IoT-based monitoring and control system for recirculating aquaculture using cloud computing platform. *Aquacultural Engineering*, 90, 102081. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2020.102081>