

Rancang Bangun Alat *Monitoring* Kualitas Air Danau Perumahan Pinang Bahari

Rizky Wahyudi¹, Marson Ady Putra², Lucianus Handri Gunawan³
^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda
 marson@polnes.ac.id

Abstrak- Pembudidaya ikan air tawar yang dilakukan kelompok warga di danau Perumahan Pinang Bahari mengalami kesulitan dalam melakukan pemantauan kualitas air. Perancangan alat *monitoring* kualitas danau ini diharapkan membantu masyarakat dalam memantau kualitas air yang ada di danau Pinang Bahari dengan cara memantau langsung kualitas air menggunakan perangkat *smartphone*. Perangkat *monitoring* kualitas air ini menggunakan sensor pH, sensor TDS, sensor suhu, dan sensor turbidity sebagai pembacaan setiap parameter pada kualitas air. Hasil yang diperoleh nantinya akan diproses pada perangkat mikrokontroler Arduino uno dan Nodemcu ESP8266 yang selanjutnya akan ditampilkan pada aplikasi Blynk untuk *memonitoring* kualitas air danau Pinang Bahari. Hasil pengujian alat secara keseluruhan menyatakan bahwa sistem ini bekerja sesuai dengan harapan dimana sistem dapat mendeteksi kualitas air danau. Pengujian pada setiap sensor memiliki rata-rata persentase nilai eror dibawah 5%. Pada danau Pinang Bahari setelah dilakukan pengecekan kualitas air maka hasil yang di dapat pada danau Pinang Bahari nilai kualitas air sesuai standar dan aman bagi masyarakat sekitar serta cocok untuk melakukan budidaya ikan air tawar di danau Pinang Bahari tersebut.

Kata kunci: Kualitas air, Monitoring, mikrokontroler, IOT

I. PENDAHULUAN

Alat *monitoring* adalah alat yang sering kita jumpai sehari hari. *Monitoring* merupakan bagian penting dalam proses kerja sebagian industri. Tujuan dari *monitoring* ini dimaksudkan agar sistem dari keseluruhan dapat berlangsung aman, efektif, dan efisien. Perkembangan teknologi saat ini, dapat memantau kondisi objek yang diinginkan secara real time menggunakan perangkat *Internet of Things* (IoT). Tujuan Penelitian ini adalah untuk membuat sistem *monitoring* kualitas air secara efisien di mana *monitoring* dapat ditampilkan pada smart phone. Perancangan alat ini akan membantu masyarakat dalam hal *memonitoring* kualitas air yang digunakan pada budidaya ikan. Parameter dalam *memonitoring* kualitas air diantaranya suhu air di mana untuk mendapatkan parameter tersebut menggunakan sensor DS18B20, Tingkat keasaman air menggunakan sensor pH meter, *Total dissolved solid* merupakan senyawa organik yang terdapat pada air pembacaan menggunakan sensor *total dissolved solids* (TDS), dan Tingkat kekeruhan air yang akan dibaca menggunakan sensor Turbidity. Pembacaan hasil sensor akan diproses dengan menggunakan Arduino Uno dan data akan langsung dapat dipantau pada Smart Phone pengguna sehingga akan memudahkan dalam *memonitoring* kualitas air danau.

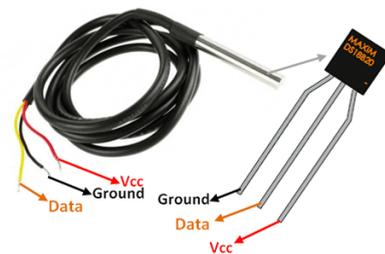
II. LANDASAN TEORI

A. Sensor DS18B20

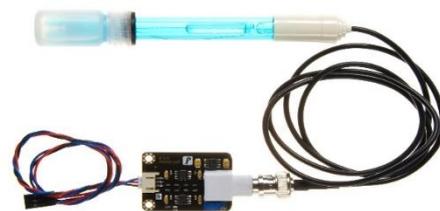
Sensor suhu DS18B20 adalah sebuah sensor suhu digital 1-wire (hanya membutuhkan 1 pin jalur data komunikasi). Setiap sensor DS18B20 memiliki nomor seri 64-bit yang unik yang berarti kita dapat menggunakan banyak sensor pada bus data yang sama (banyak sensor terhubung ke GPIO yang sama). Hal tersebut sangat berguna untuk logging data pada proyek pengontrolan suhu yang membutuhkan banyak sensor suhu. Sensor ini memiliki rentang pengukuran suhu dari mulai -55°C sampai dengan $+125^{\circ}\text{C}$ dengan akurasi $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ dari -10°C sampai $+85^{\circ}\text{C}$ [1]. Bentuk fisik sensor DS18B20 dapat dilihat pada Gambar 1. Akurasi pengukuran kurang lebih 0.5°C .

B. Sensor pH

pH adalah ukuran keasaman atau basa dari suatu larutan yang skalanya berkisar dari 0 sampai dengan 14, di mana nilai 0 menunjukkan pH sangat asam, nilai 7 menunjukkan pH netral sedangkan pH 14 menunjukkan pH sangat basa. Cara kerja sensor pH ialah dengan mengukur perbedaan potensial antara dua elektroda yaitu elektroda referensi (perak/perak klorida) dan kaca elektroda yang sensitive terhadap ion hydrogen [2]. Pada Gambar 2 merupakan fisik dari Sensor pH dan Tabel 1 merupakan spesifikasi dalam sensor pH.



Gambar 1. Sensor DS18B20 [1].



Gambar 2 Sensor pH [3].

TABEL 1
SPESIFIKASI SENSOR PH

NO	Spesifikasi	Keterangan
1	Tegangan operasi	5 V
2	Ukuran modul	43 mm x 32 mm
3	Rentang pengukuran	0 – 14 pH
4	Suhu pengukuran	0 – 60°C
5	Akurasi pengukuran	±0,1 pH (25°C)
6	Waktu respon	≤ 1 menit
7	Panjang kabel	660 mm

TABEL 3
SPESIFIKASI TURBIDITY SENSOR

NO	Spesifikasi	Keterangan
1	Tegangan input	5V DC
2	Metode output	Analog output
3	Arus kerja	40 mA
4	Waktu respon	500 ms
5	Rentang temperature	5°C sampai dengan 90°C
6	Stroke temperature	-10°C sampai dengan 90°C

C. Sensor TDS

Sensor TDS menggunakan prinsip kerja dua elektroda yang terpisah untuk mengukur nilai konduktivitas listrik dari cairan sampel. Sifat elektrolit atau kandungan partikel ion dari suatu cairan akan mempengaruhi hasil pengukuran konduktivitas listrik pada sensor TDS [4]. Sistem pengukur TDS air minum ini didasarkan pada kemampuan kation dan anion dalam menghantarkan listrik, semakin tinggi nilai konduktivitas maka semakin besar kemampuan kation dan anion dalam menghantarkan listrik. Berikut Tabel 2 menunjukkan spesifikasi dari sensor TDS dan Gambar 3 adalah sensor TDS tersebut.



Gambar 3. Sensor TDS [5].

TABEL 2
SPESIFIKASI SENSOR TDS

NO	Spesifikasi	Keterangan
1	Tegangan input	3,3 ~ 5,5V
2	Tegangan output	0 ~ 2,3 v
3	Arus kerja	3 ~ 6 mA
4	Pengukuran TDS	0 ~ 1000 ppm
5	Akurasi	±10% F.S. (25°C)
6	Dimensi modul	42 × 32 mm
7	Panjang probe	83 cm

D. Turbidity Sensor

Turbidity sensor digunakan untuk mendeteksi kualitas air dengan cara mengukur tingkat kekeruhannya. Sensor ini menggunakan cahaya untuk mendeteksi partikel yang tertahan didalam air dengan cara mengukur transmisi cahaya dan tingkat penghamburan cahaya yang berubah sesuai dengan jumlah TTS (Total Suspended Solids) dengan meningkatnya TTS [2]. Bentuk fisik dari sensor ditunjukkan pada Gambar 4 Berikut spesifikasi dari turbidity sensor



Gambar 4. Turbidity Sensor [6].



Gambar 5. Arduino Uno [7].

E. Arduino Uno

Arduino Uno adalah sebuah board minimum sistem mikrokontroler AVR seri ATmega 328 yang merupakan produk dari Atmel. Arduino ini memiliki 14 pin digital, 6 pin analog. Enam pin digitalnya dapat berfungsi sebagai pin Pulse Width Modulation (PWM), yang memungkinkan untuk memberikan nilai analog ke pin tersebut. Adapun pin-pin analog dapat difungsikan sebagai pin digital. Mikrokontroler ATmega328P memiliki RAM berukuran 2K dan EEPROM berukuran 1K. Clock speed sebesar 16MHz. Tegangan masukan yang dianjurkan berkisar antara 7V dan 12V. Arusmaksimum pada setiap pin sebesar 20mA. Board Arduino Uno dapat dilihat pada Gambar 5.

F. Node MCU ESP 8266

NodeMCU adalah perangkat firmware dan pengembangan sumber terbuka yang membantu membangun produk IoT. NodeMCU dikembangkan untuk mempermudah penggunaan Application Programming Interface (API) lanjutan untuk IO perangkat keras. API dapat mengurangi pekerjaan yang berlebihan untuk mengonfigurasi dan memanipulasi perangkat keras. NodeMCU dirancang seperti Input Output (IO) perangkat keras Arduino [8]. Board Node MCU ESP 8266 dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. NodeMCU ESP8266 [8].

G. Standar Kualitas Air Budidaya Ikan Air Tawar

Pada Tabel 4 merupakan standar kualitas atau mutu air yang dapat digunakan untuk melakukan budidaya ikan air tawar menurut PP No. 22 Tahun 2021 [9].

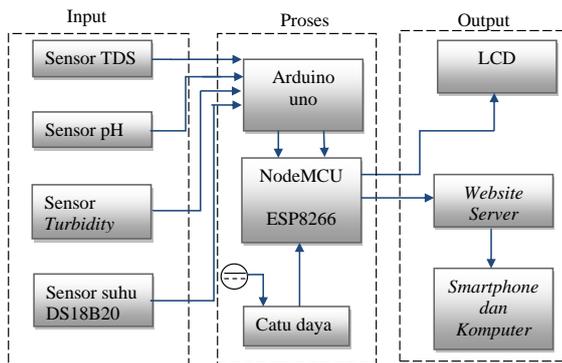
TABEL 4
TABEL KUALITAS AIR BUDIDAYA IKAN

No	Parameter	Kelas 2
1	Temperatur °C	Dev 3 (Perbedaan Suhu udara dengan suhu air)
2	Derajat Keasaman (pH)	6 – 9 pH
3	Padatan terlarut total (TDS)	≤ 1000
4	Kekeruhan Air	≤ 20 NTU

III. METODELOGI PERANCANGAN

A. Blok Diagram Sistem

Penelitian ini menggunakan mikrokontroler yang menjadi modul utama yang berfungsi untuk memproses setiap data yang berasal dari nilai sensor yang sedang berjalan adapun sensor yang digunakan yaitu sensor pH, sensor suhu air, sensor TDS, dan sensor kekeruhan air. Sensor tersebut digunakan untuk mengidentifikasi keadaan air pada danau Pinang Bahari. Alat monitoring kualitas air tersebut juga terintegrasi oleh sebuah website sebagai antarmuka antara pengguna dengan perangkat NodeMCU ESP8266. Pengguna dapat memantau kualitas air melalui website dan Smartphone agar mempermudah proses pemanataan beserta pengolahan data kualitas air tersebut. Gambar 7 merupakan blok diagram sistem dari alat yang di buat.



Gambar 7. Blok Diagram Sistem

B. Metode Pengambilan Data

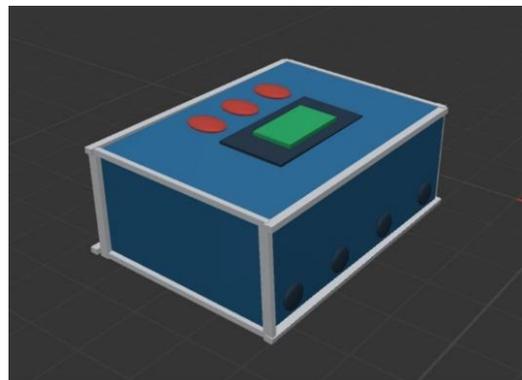
Pengambilan data pada danau di Pinang Bahari dengan melakukan penentuan titik sampel menggunakan *sample survey method* yaitu metode pengambilan sampel dilakukan dengan membagi menjadi beberapa segmen atau titik yang dapat mewakili populasi. Penentuan titik pengambilan sampel kualitas air pada danau yang akan dilakukan pengambilan data untuk pengujian alat yang akan dibuat dapat dilihat Pada Gambar 8. Pengujian dilakukan dengan dua cara yaitu *in situ* (pengukuran langsung di lapangan) dan *ex situ* (analisis laboratorium).



Gambar 1. Penentuan Titik Sampel

C. Desain Alat

Desain alat dibuat menggunakan *software* Prisma3D dengan menimbang berbagai macam aspek hingga fungsi yang tepat guna untuk hasil akhir yang baik. Desain alat monitoring kualitas air dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Desain Alat

Spesifikasi ukuran dan berat pada alat monitoring kualitas air dapat dilihat pada Tabel 5 Berikut ini

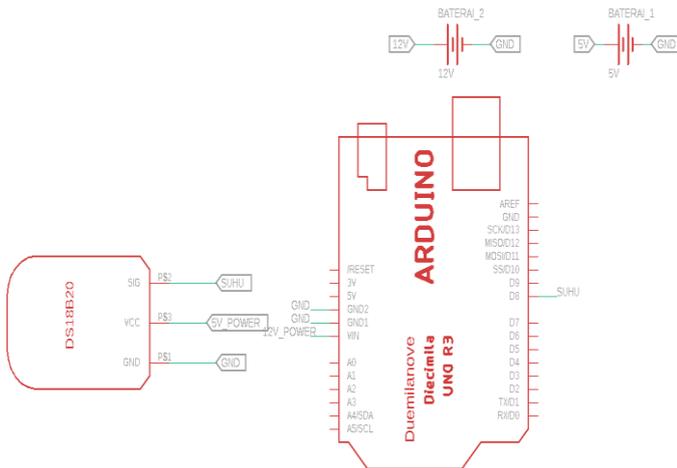
TABEL 5
SPESIFIKASI DESAIN ALAT

Spesifikasi	Ukuran
Panjang	20 cm
Lebar	24 cm
Tinggi	12 cm
Berat	1,35 kg

D. Perancangan Sensor Suhu DS18B20

Sensor DS18B20 berfungsi untuk mengukur suhu air dalam danau. Cara kerja sensor ini sama dengan sensor pH yaitu dengan memasukkan sensor ke dalam air, maka dengan itu sensor dapat membaca suhu air. Pada Gambar 10 merupakan skematik dari Sensor DS18B20 di mana tegangan input yang

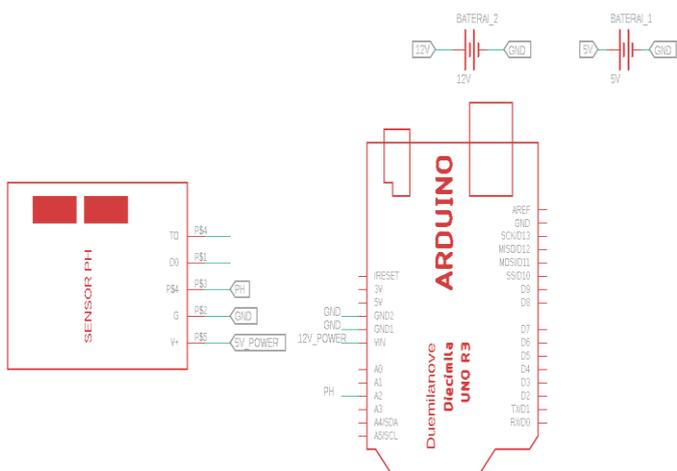
dibutuhkan sensor yaitu 5 v dan Pin sig langsung masuk pada pin D8 Arduino yaitu sebagai input data dari sensor.



Gambar 10. Skematik DS18B20

E. Perancangan Sensor pH

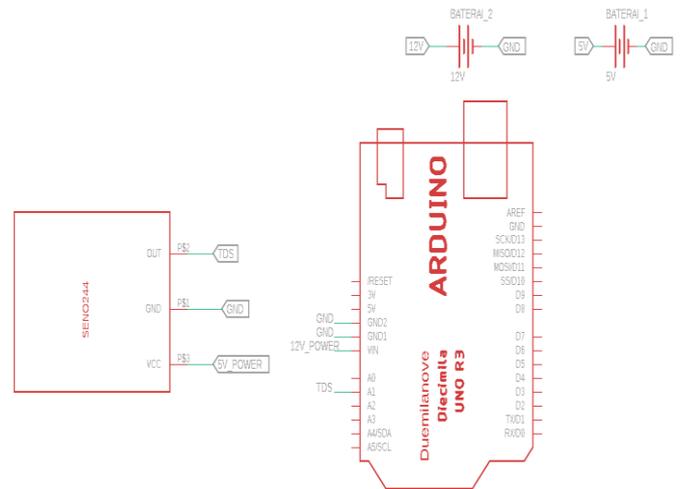
Sensor pH berfungsi untuk mengukur derajat asam basa air yaitu dengan mencelupkan sensor kedalam air. Cara kerja sensor ini yaitu dengan cara memasukkannya ke dalam air, maka dengan demikian sensor akan membaca derajat asam basa air tersebut kemudian dikirimkan untuk di proses. Pada Gambar 11 merupakan skematik dari sensor pH di mana sensor ini membutuhkan tegangan 5 v dan pin input sensor masuk dalam pin ADC arduino yaitu A2.



Gambar 11. Sensor pH

F. Perancangan Sensor TDS

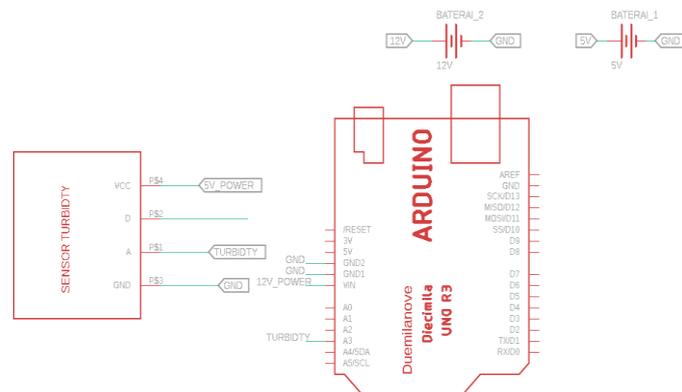
Sensor TDS berfungsi sebagai untuk mengukur jumlah padatan atau partikel terlarut didalam air. Cara kerja sensor dengan cara mencelupkan ujung sensor ke danau yang akan di ukur partikel-partikel yang terlarut didalam danau tersebut, selanjutnya yang akan diproses melalui sistem yang dibuat. Pada Gambar 12 merupakan rangkaian skematik dari sensor TDF di mana sensor ini membutuhkan tegangan input 5 v dan keluaran senso akan masuk pada pin ADC A1 pada Arduino Uno



Gambar 12. Sensor TDS

G. Turbidity Sensor

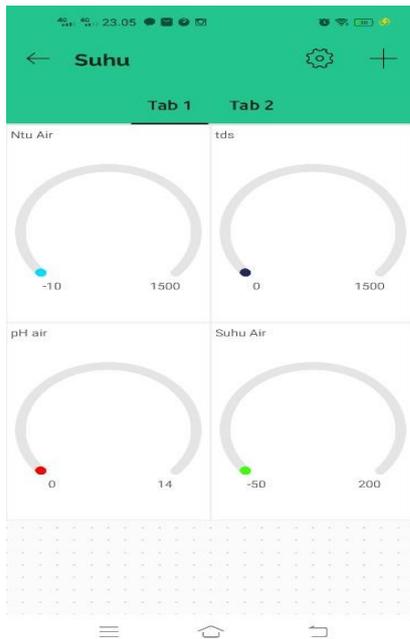
Sensor Turbidity berfungsi sebagai untuk mengukur tingkat kekeruhan pada air danau. Cara kerja dari sensor ini ialah dengan mencelupkan ujung sensor tersebut dimana nantinya sensor ini akan mengukur tingkat kekeruhan air danau tersebut, selanjutnya yang akan diproses melalui sistem yang dibuat. Pada Gambar 13 merupakan skematik dari sensor turbidity di mana sensor ini memerlukan tegangan input 5 v dan data output sensor akan dihubungkan di pin ADC A3 Arduino Uno.



Gambar 13. Tubidity Sensor

H. Perancangan Penampilan pada Aplikasi Blynk

Berikut ini penampilan pada website pada aplikasi Blynk menggunakan smartphone. penampilan nilai data dari nodeMCU ESP8266 ke smartphone menggunakan Virtual Output dari aplikasi Blynk dan tampilan awal hasil penampilan data pada aplikasi Blynk.



Gambar 14. Aplikasi Blynk

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengujian ini dilakukan 2 tahap yaitu pengujian setiap sensor dan pengujian air danau Perumahan Pinang Bahari. Pengujian sensor dilakukan dengan melakukan perbandingan sampel data dan sekaligus sebagai kalibrasi sensor yang akan digunakan. Sampel data diambil dari buffer sampel maupun dari Laboratorium Kimia. Setelah sensor dinyatakan baik dan telah dikalibrasi dengan data sampel akan selanjutnya mengambil data kualitas air di danau.

A. Sensor Suhu

Dalam pengujian sensor suhu DS18B20 dilakukan dengan menggunakan sampel suhu air panas, suhu air dingin, dan suhu air normal. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan sensor suhu DS18B20 dengan alat ukur termometer yang akan dilihat nilai eror pada sensor tersebut. Berikut ini hasil percobaan sensor DS18B20 dengan menggunakan sampel suhu air. Pada Tabel 6 merupakan hasil pengujian sensor suhu. Pada data menunjukkan bahwa sensor akurasi sensor yang digunakan dalam penelitian ini adalah 99% sehingga sensor suhu dapat dikatakan baik.

TABEL 6
HASIL PENGUJIAN SENSOR SUHU

No	Termometer (oC)	Sensor Suhu DS18B20 (oC)	Error Perbandingan (%)	Keterangan
1	17,4	17,30	0,574	Baik
2	19,4	19,5	0,515	Baik
3	29,9	29,82	0,267	Baik
4	47,3	46,94	0,761	Baik
5	47,3	47,00	0,634	Baik

B. Pengujian Sensor pH

Pengujian sensor pH dilakukan untuk mengetahui apakah kondisi perintah pada sensor apakah bekerja dengan baik dalam menghitung nilai pH yang dihasilkan oleh air. Dalam penelitian ini peneliti melakukan uji coba serta kalibrasi sensor dengan menggunakan sampel pH. Nantinya setelah dilakukan kalibrasi maka akan dilihat bagaimana kondisi danau di perumahan Pinang Bahari serta jenis ikan apa saja yang cocok di danau tersebut. Pada Tabel 7 merupakan hasil pengujian sensor pH. Pada data menunjukkan bahwa sensor dalam keadaan baik karena akurasi mencapai 99.417%.

TABEL 7
HASIL PENGUJIAN SENSOR PH

No	Nilai pH Buffer	Sensor pH	Error Perbandingan	Keterangan
1	4,00	4,13	0,037	Baik
2	4,00	4,12	0,030	Baik
3	6,86	6,90	0,583	Baik
4	6,86	6,84	0,291	Baik
5	9,18	9,20	0,217	Baik

C. Pengujian Sensor TDS

Pengujian sensor TDS akan dilakukan menggunakan sampel air sungai dengan nilai TDS 142, air dari pdam dengan nilai TDS 40, dan air mineral dengan nilai TDS 113. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan nilai pada sensor TDS dengan alat ukur TDS meter dimana akan dilihat nilai eror yang ada pada sensor TDS tersebut. Pada Tabel 8 merupakan hasil pengujian sensor TDS. Pada data menunjukkan bahwa sensor TDS yang digunakan dalam kondisi baik karena akurasi ketepatan pembacaan sensor sebesar 96.973%.

TABEL 8
HASIL PENGUJIAN SENSOR TDS

No	Sampel Air (TDS)	Sensor TDS (TDS)	Error Perbandingan	Keterangan
1	142	142,34	0,239	Baik
2	142	142,47	0,333	Baik
3	40	39,661	0,972	Baik
4	40	41,211	3,027	Baik
5	113	115,83	2,504	Baik

D. Pengujian Turbidity Sensor

Pengujian turbidity sensor atau sensor kekeruhan dengan menggunakan sampel air dengan nilai 103 NTU sampel air NTU ini diambil dari laboratorium teknik kimia politeknik negeri samarinda. Pada Tabel 9 merupakan hasil pengujian sensor turbidity. Pada sensor ini memperlihatkan bahwa akurasi pengukuran sensor turbidity sensor yaitu 95% sehingga sensor ini dapat dikatakan baik.

TABEL 9
HASIL PENGUJIAN TURBIDITY SENSOR

No	Sampel NTU	Sensor Turbidiy	Error Perbandingan	Keterangan
1	103	108	4,854	Baik
2	103	99	3,883	Baik
3	103	98	4,854	Baik
4	103	100	2,91	Baik
5	103	101	1,94	Baik

E. Pengujian Kualitas Air Danau

Pengujian ini dilakukan untuk menguji kinerja sistem alat *monitoring* kualitas air di danau Pinang Bahari. Peneliti akan menguji coba sistem mulai dari pH, TDS, suhu, dan kekeruhan air apakah sistem dapat membaca parameter nilai air. Pada proses pengambilan data peneliti mengambil data dari 7 titik sampel pada danau Pinang Bahari. Dari hasil ujicoba sistem dapat diketahui bahwa sistem dapat berkerja dengan baik sesuai perintah pada program yang telah dibuat. Pada [Gambar 15](#) proses pengambilan data di danau didampingi oleh pengurus danau. [Tabel 10](#) merupakan data hasil pengukuran kualitas danau Perumahan Pinang Bahari.



Gambar 15. Pengambilan Data di Danau

TABEL 10
HASIL PENGUJIAN KUALITAS AIR DANAU

Titik Sampel	pH Air	Suhu Air	NTU Air	TDS Air
1	7	28.56	10	72.12
2	6.9	28.62	13	67.55
3	6.94	30.31	15	58.45
4	6.67	3.25	14	68.87
5	6.5	29.69	14	86.97
6	6.87	29.56	15	121.7
7	6.54	29	16	75.54
Rata-Rata	6.774	25.57	13	78.742

Pada [Tabel 10](#) menunjukkan hasil rata-rata pengukuran dari setiap titik sampel didapatkan bahwa kondisi air danau Perumahan Pinang Bahari masih dalam kondisi layak untuk melakukan budidaya ikan air tawar sesuai dengan [Tabel 4](#) tentang batas maksimal kualitas air untuk budidaya ikan air tawar.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Pada penelitian ini didapatkan bahwa dengan menggunakan sensor suhu DS18B20, sensor pH, sensor TDS dan sensor Turbidity dapat mampu mengukur setiap parameter kualitas air dengan tingkat kesalahan dibawah 5%. Dari kualitas air yang telah dilakukan pengukuran di Danau Pinang Bahari didapatkan semua nilai parameter didapatkan masih dalam batas wajar dalam melakukan budidaya ikan air tawar di danau. Pemanfaatan IOT juga mampu memudahkan dalam pengambilan data maupun pembacaan data karena telah dapat langsung memantau secara *real-time* hasil pengukuran dari sensor.

B. Saran

Pada penelitian ini masih dalam tahap pengembangan di mana berfokus pada system *monitoring* dan memberikan informasi terhadap pengguna terkait kondisi air di danau. Harapan kedepan adalah yaitu membuat suatu sistem kontrol di mana bertujuan selain memberikan informasi terhadap pengguna dapat secara otomatis langsung mengkontrol suatu sistem agar dapat menjaga kualitas air danau.

REFERENSI

- [1] D. Eridani, O. Wardhani, and E. D. Widiyanto, "Designing and implementing the arduino-based nutrition feeding automation system of a prototype scaled nutrient film technique (NFT) hydroponics using total dissolved solids (TDS) sensor," in *2017 4th International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE)*, Semarang: IEEE, Oct. 2017, pp. 170-175. doi: 10.1109/ICITACEE.2017.8257697.
- [2] M. Fajar Wicaksono, *Aplikasi Arduino Dan Sensor*, vol. 1. in 1, vol. 1. Penerbit INFORMATIKA, 2017.
- [3] "PH_meter_SKU__SEN0161_-DFRobot." Accessed: Oct. 28, 2023. [Online]. Available: https://wiki.dfrobot.com/PH_meter_SKU__SEN0161_
- [4] R. P. Wirman, I. Wardhana, and V. A. Isnaini, "Kajian Tingkat Akurasi Sensor pada Rancang Bangun Alat Ukur Total Dissolved Solids (TDS) dan Tingkat Kekeruhan Air," *Jurnal Fisika*, vol. 9, no. 1, pp. 37-46, May 2019, doi: 10.15294/jf.v9i1.17056.
- [5] "Gravity Analog TDS Sensor / Meter for Arduino COM43 ,R27,," Faranux Electronics. Accessed: Oct. 28, 2023. [Online]. Available: <https://www.faranux.com/product/gravity-analog-tds-sensor-meter-for-arduino-com43/>
- [6] "Water Turbidity Sensor with Analog Output Module." Accessed: Oct. 28, 2023. [Online]. Available: <https://www.techtonics.in/water-turbidity-sensor-with-analog-output-module>
- [7] A. Dede M. Yusuf, "Alat Pendeteksi Kadar Keasaman Sari Buah, Soft Drink, dan Susu Cair Menggunakan Sensor PH Berbasis Mikrokontroler Arduino UNO ATMEGA328," May 2020, doi: 10.5281/ZENODO.3865138.
- [8] Tri Sulistyorini, Nelly Sofi, and Erma Sova, "Pemanfaatan Nodemcu Esp8266 Berbasis Android (Blynk) Sebagai Alat Alat Mematikan Dan Menghidupkan Lampu," *JUIT*, vol. 1, no. 3, pp. 40-53, Sep. 2022, doi: 10.56127/juit.v1i3.334.
- [9] Peraturan Pemerintah, *Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*.
- [10] Rocher, Javier, et al. "Low-Cost Turbidity Sensor to Determine Eutrophication in Water Bodies." *Sensors*, vol. 23, no. 8, Jan. 2023, p. 3913. www.mdpi.com, <https://doi.org/10.3390/s23083913>.
- [11] Kelley, Christopher D., et al. "An Affordable Open-Source Turbidimeter." *Sensors*, vol. 14, no. 4, Apr. 2014, pp. 7142-55. www.mdpi.com, <https://doi.org/10.3390/s140407142>.