BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian yang Relevan

Dalam penelitian ini, dilakukan kajian literatur untuk menemukan referensi guna mendukung pengembangan Rancang Bangun Sistem Akuisisi Data Kualitas Air Tandon Menggunakan Sensort Multi-Parameter Berbasis Esp32. Beberapa penelitian terdahulu yang relevan akan dibahas untuk melihat pendekatan, metode, serta temuan yang dapat dilihat pada table berikut:

1. Penelitian dengan judul "Perancangan Prototipe Sistem Monitoring Kejernihan Air Dengan Sensor *Turbidity* Pada Tandon Berbasis *IoT*" [7]. penelitian bertujuan merancang sistem monitoring kejernihan air pada tandon menggunakan sensor turbidity SKU SEN0189 dan sensor *ultrasonic* HC SR04. Sistem berbasis *Internet Of Things (IoT)* ini menghubungkan data ke aplikasi Blynk, memungkinkan pengguna memantau kejernihan air dan kapasitas tandon dari jarak jauh melalui *smartphone*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa air dengan NTU di bawah 1500 dapat digunakan, sementara air dengan NTU di atas 3000 tidak layak digunakan. Sensor *ultrasonic* digunakan untuk mengukur kapasitas air, meskipun hasilnya kurang presisi karena ukuran dari wadah uji yang terbilang kecil. Berbeda dengan penelitian tersebut, penelitian ini hanya fokus pada monitoring kejernihan air dan kapasitas tandon menggunakan sensor turbidity dan ultrasonic. Sementara itu, penelitian penulis mengembangkan sistem menggunakan sensor multi-parameter (pH, turbidity, TDS, suhu) dan membandingkan dua sumber air berbeda. Selain itu, sistem penulis juga dilengkapi dengan sistem peringatan dini melalui WhatsApp, yang memberikan notifikasi kepada pengguna jika kualitas air tidak memenuhi standar yang aman [7].
2. Jurnal dengan judul "Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air (pH dan Kekeruhan) pada Akuarium Berbasis *Internet of Things*" [12]. Bertujuan merancang sistem monitoring kualitas air (pH dan kekeruhan) pada akuarium

berbasis *Internet of Things (IoT)*. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ATmega328P, sensor pH *Module* V.1.1, dan *RED Turbidity* sensor untuk memantau kualitas air secara real-time. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini dapat memantau tingkat pH dan kekeruhan air dalam akuarium dan mengaktifkan pompa secara otomatis ketika parameter melebihi batas yang telah ditentukan. Aplikasi Blynk digunakan sebagai antarmuka untuk memonitor kualitas air melalui smartphone, memudahkan pengontrolan jarak jauh. Perbedaan dengan penelitian penulis, Penelitian ini berfokus pada monitoring kualitas air pada akuarium menggunakan sensor pH dan kekeruhan. Sementara itu, penelitian penulis mengembangkan sistem yang lebih kompleks dengan menggunakan sensor multi-parameter (pH, *turbidity, TDS,* suhu) pada tandon rumah tangga dan membandingkan dua sumber berbeda. Selain itu, sistem penelitian penulis juga dilengkapi dengan sistem peringatan dini berbasis WhatsApp, yang memberikan notifikasi kepada pengguna jika kualitas air tidak memenuhi standar yang aman [12].

3. Penelitian yang berjudul "Rancang Bangun Alat Monitoring Kualitas Air Pada Kolam Ikan Koi Berbasis Arduino" [13] Bertujuan merancang alat monitoring kualitas air pada kolam ikan koi menggunakan mikrokontroler Arduino. Sistem ini menggunakan sensor pH (SEN0161) untuk memantau pH air, dan mengaktifkan pompa air otomatis jika pH air tidak sesuai dengan standar yang dibutuhkan untuk pertumbuhan ikan koi. Sistem ini memungkinkan pemantauan kualitas air secara real-time, dengan data yang ditampilkan pada LCD dan pompa air yang bekerja untuk menstabilkan pH jika diperlukan. Penelitian ini juga menggunakan metode *Research and Development (R&D)* untuk pengembangan produk, yang meliputi analisis kebutuhan, perancangan, pengujian, dan implementasi Perbedaan dengan penelitian penulis, Penelitian ini berfokus pada kolam ikan koi dan menggunakan sensor pH untuk menstabilkan pH air, sedangkan penelitian penulis menggunakan sensor multi-parameter (pH, *turbidity, TDS*, suhu) pada tandon rumah tangga. Selain itu, sistem penulis dilengkapi dengan sistem peringatan dini berbasis WhatsApp, yang memberi notifikasi kepada pengguna jika kualitas air tidak memenuhi

standar yang aman. Penelitian ini juga mencakup perbandingan antara dua sumber air yang berbeda, yang tidak dibahas dalam penelitian ini [13].

4. Penelitian dengan judul "Rancang Bangun Sistem Monitoring Suhu, pH dan Kejernihan Air Pada Kolam Ikan Air Tawar Berbasis *Internet Of Things (IoT)*" [14]. Bertujuan merancang sistem monitoring kualitas air pada kolam ikan air tawar berbasis *Internet of Things (IoT)*. Sistem ini menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 untuk memproses data dari sensor pH, suhu, dan kejernihan air, yang kemudian dikirimkan ke cloud dan dapat diakses melalui aplikasi smartphone. Dengan sistem ini, para peternak ikan dapat memantau kualitas air secara real-time tanpa harus memeriksa kondisi air langsung di lokasi kolam. Penelitian ini juga menyertakan pengujian sensor suhu DS18B20, sensor pH 4502C, dan sensor *turbidity*, dengan hasil pengujian menunjukkan akurasi tinggi pada masing-masing sensor. Sistem ini memiliki tingkat akurasi pembacaan sensor suhu sebesar 98,3%, sensor pH sebesar 97,5%, dan sensor *turbidity* sebesar 99,64%. Perbedaan dengan penelitian penulis, Penelitian ini berfokus pada monitoring kualitas air pada kolam ikan air tawar menggunakan sensor suhu, pH, dan kejernihan (*turbidity*), serta memanfaatkan NodeMCU ESP8266 untuk pengolahan data dan pengiriman ke cloud. Sementara itu, penelitian penulis lebih mengutamakan tandon rumah tangga dengan sensor multi-parameter (pH, turbidity, TDS, suhu) yang memantau dan membandingkan kualitas air dari dua sumber yang berbeda. Selain itu, sistem penulis dilengkapi dengan sistem peringatan dini berbasis WhatsApp, yang memberi notifikasi kepada pengguna jika kualitas air tidak memenuhi standar yang aman, fitur ini tidak ada dalam penelitian ini [14].
5. Penelitian yang berjudul "Rancang Bangun Alat Monitoring Kualitas Air Berbasis Online" [15]. Bertujuan merancang sistem monitoring kualitas air berbasis online dengan menggunakan tiga parameter utama: kekeruhan, pH, dan suhu. Sistem ini memanfaatkan sensor *turbidity* untuk mengukur kekeruhan air, sensor pH untuk mengukur keasaman air, dan sensor suhu DS18B20 untuk mengukur suhu air. Data yang diperoleh dari sensor-sensor tersebut diproses oleh Arduino Uno dan dikirim ke aplikasi Blynk

menggunakan modul WiFi NodeMCU ESP8266. Dengan aplikasi Blynk, pengguna dapat memantau kualitas air secara real-time melalui smartphone. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini mampu bekerja dengan baik, dengan akurasi pengukuran sensor yang tinggi pada semua parameter: *turbidity*, pH, dan suhu. Perbedaan dengan penelitian penulis, Penelitian ini lebih terfokus pada pemantauan kualitas air di kolam ikan menggunakan tiga parameter: kekeruhan, pH, dan suhu. Sedangkan penelitian penulis memanfaatkan sensor multi-parameter yang lebih lengkap, termasuk *TDS* dan sensor suhu. Selain itu, sistem penulis juga dilengkapi dengan sistem peringatan dini berbasis WhatsApp, yang memberi notifikasi kepada pengguna ketika kualitas air tidak memenuhi standar yang aman, sebuah fitur yang tidak ada dalam penelitian ini [15].

2.2 Landasan Teori

2.2.1. Sistem Akuisisi Data

Sistem akuisisi data merupakan suatu sistem yang berfungsi untuk mengambil, mengubah, dan mengolah besaran fisik dari lingkungan menjadi data digital yang dapat ditampilkan, disimpan, maupun dikirimkan ke media pemantauan. Dalam sistem instrumentasi, sensor berperan sebagai elemen input yang mendeteksi perubahan parameter fisik atau kimia, kemudian sinyal tersebut diproses oleh mikrokontroler melalui tahapan pembacaan, pengondisian sinyal, konversi analog-ke-digital, dan penyajian data. Pada penelitian sistem kualitas air berbasis *IoT* di Indonesia, pola kerja ini diterapkan dengan menghubungkan sensor kualitas air ke mikrokontroler agar parameter air dapat dimonitor secara *real-time* [8].

Dalam konteks penelitian ini, sistem akuisisi data digunakan untuk memperoleh data kualitas air tandon secara kontinu dari beberapa parameter utama, yaitu suhu, derajat keasaman, total padatan terlarut, dan kekeruhan. Pendekatan multi-parameter menjadi penting karena kualitas air tidak dapat direpresentasikan secara memadai hanya oleh satu variabel. Integrasi beberapa

sensor memungkinkan sistem menghasilkan informasi yang lebih komprehensif mengenai kondisi air tandon [6].

2.2.2. Air PDAM dan air Tanah sebagai objek penelitian

Air PDAM dan air tanah memiliki karakteristik kualitas yang berbeda akibat perbedaan sumber, proses distribusi, kondisi lingkungan, dan media penyimpanan. Air PDAM umumnya mengalami proses pengolahan sebelum didistribusikan, sedangkan kualitas air tanah sangat dipengaruhi oleh kondisi geologis, kedalaman sumber, dan potensi kontaminasi dari lingkungan sekitar. Perbedaan tersebut dapat memengaruhi parameter kualitas air seperti pH, total padatan terlarut (TDS), kekeruhan, dan suhu. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan air tandon yang bersumber dari air PDAM dan air tanah sebagai sampel pengujian untuk mengevaluasi kemampuan sistem instrumentasi dalam mengukur variasi parameter kualitas air.

2.2.3. Kualitas Air

Kualitas air adalah kondisi air yang ditentukan oleh karakteristik fisik, kimia, dan biologis yang menunjukkan tingkat kelayakannya untuk digunakan seperti yang ditunjukan pada gambar 2.1. Pada penelitian rekayasa sistem monitoring, parameter kualitas air yang paling sering digunakan ialah suhu, pH, *TDS,* dan *turbidity* karena keempat parameter tersebut relatif mudah diukur secara elektronik dan secara praktis sangat menentukan mutu air pada media budidaya, akuaponik, maupun air konsumsi. Penelitian Widodo dkk. menunjukkan bahwa pemantauan kualitas air berbasis *IoT* banyak difokuskan pada empat parameter tersebut karena mampu merepresentasikan perubahan kondisi air secara operasional [6], [16]



Gambar 2.1 Tandon Air

(Sumber : https://share.google/aanfOCa6ww00Ftxzg)

Secara regulatif, pengawasan kualitas air di Indonesia telah diatur dalam Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023. Regulasi tersebut menegaskan bahwa pengawasan kualitas air dilakukan melalui surveilans, uji laboratorium, analisis risiko, dan rekomendasi tindak lanjut. Dalam berbagai dokumen turunan dan kajian yang merujuk regulasi tersebut, parameter fisik dan kimia seperti suhu, *TDS*, kekeruhan, dan pH tetap menjadi indikator utama dalam penilaian mutu air [17].

Tabel 2.1 Standar kualitas air [15].

No.	Parameter	Kadar Maksimum yang Diperbolehkan	Satuan
1	Suhu	Suhu udara ± 3	°C
2	*Total Dissolved Solid (TDS)*	< 300	mg/L
3	Kekeruhan	< 3	NTU
4	pH	6,5–8,5	-
5	Bau	Tidak berbau	-

6	Warna	10	TCU

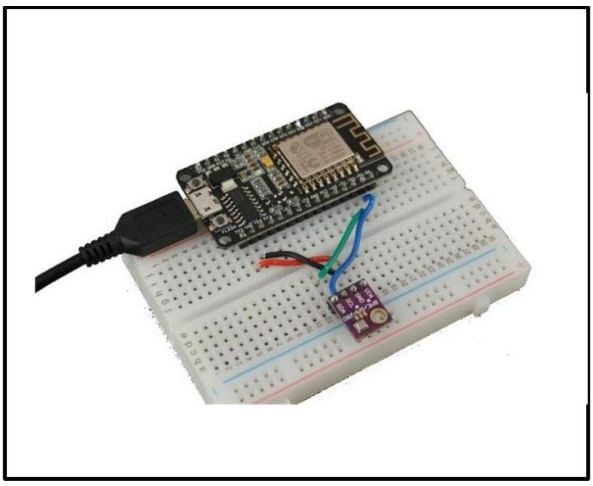
Untuk kepentingan akademik, penelitian ini dapat memakai parameter rujukan air minum sebagai titik banding teknis, yakni pH 6,5–8,5, *TDS* kurang dari 300 mg/L, kekeruhan kurang dari 3 NTU, dan suhu sekitar ±3°C dari suhu udara sebagaimana ditampilkan dalam sumber-sumber yang merujuk Permenkes Nomor 2 Tahun 2023. Walaupun air tandon tidak selalu identik dengan air minum siap konsumsi, batas ini tetap berguna sebagai acuan awal dalam menilai apakah kualitas air cenderung baik, perlu diwaspadai, atau memerlukan penanganan lebih lanjut.

2.2.4. Mikrokontroller ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem akuisisi data dan *Internet of Things* karena memiliki kemampuan pemrosesan yang baik, pin input-output yang cukup, modul Wi-Fi terintegrasi, serta fitur ADC untuk membaca sensor analog seperti yang ditunjukan pada gambar 2.2. Dalam penelitian Manurung dkk., ESP32 dipilih karena mendukung integrasi sensor kualitas air dan pengiriman data secara real-time ke aplikasi. Hal serupa juga ditunjukkan pada penelitian monitoring kualitas air budidaya ikan air tawar yang menjelaskan bahwa ESP32 memiliki pin ADC yang digunakan untuk membaca sinyal analog dari sensor pH dan TDS, kemudian mengubahnya menjadi data digital [8].

Relevansi ESP32 pada penelitian ini terletak pada kemampuannya menjadi pusat akuisisi sekaligus pemrosesan data dari beberapa sensor secara simultan. Dengan satu mikrokontroler, sistem dapat membaca keluaran analog dari sensor pH, TDS, dan turbidity, serta keluaran digital dari sensor suhu DS18B20. Selain itu, ESP32 mendukung pengembangan lanjutan menuju sistem monitoring berbasis *IoT* apabila data nantinya ingin dikirim ke web, aplikasi seluler, atau cloud. Oleh karena itu, ESP32 dipilih sebagai pusat pengendali dalam penelitian ini untuk mendukung sistem akuisisi data multi-

parameter yang membutuhkan stabilitas dan fleksibilitas tinggi [8].



Gambar 2.2 ESP32

(Sumber : https://www.researchgate.net/figure/ESP32-BME280-and-Breadboard-and-Jumper-Wires-Setup-Up_fig3_384446107.)

2.2.5. Sensor Suhu DS18B20

DS18B20 adalah sensor suhu digital yang banyak dipakai pada sistem monitoring air karena memiliki kestabilan pembacaan, komunikasi digital 1-Wire, dan kemudahan integrasi dengan mikrokontroler seperti yang ditunjukan pada gambar 2.3. Sensor DS18B20 memiliki akurasi yang relatif tinggi, yaitu sekitar ±0,5°C pada rentang suhu tertentu, serta resolusi hingga 12-bit. Keunggulan lain dari sensor ini adalah kestabilan pembacaan dan ketahanannya terhadap lingkungan basah, terutama pada tipe waterproof yang umum digunakan dalam pengukuran suhu air. Pada penelitian Widodo dkk., sensor DS18B20 digunakan sebagai salah satu sensor utama untuk mengukur suhu air pada sistem akuaponik berbasis *IoT*. Penelitian lain yang menggunakan NodeMCU ESP32 juga menempatkan DS18B20 sebagai sensor suhu utama dalam prototipe monitoring kualitas air berbasis Android [6].

Dalam sistem kualitas air, suhu berperan sebagai variabel yang

memengaruhi parameter lain. Peningkatan suhu dapat meningkatkan konduktivitas listrik air, yang pada akhirnya memengaruhi pembacaan sensor *TDS*. Selain itu, suhu juga dapat memengaruhi aktivitas kimia dan biologis dalam air. Oleh karena itu, pengukuran suhu tidak hanya berfungsi sebagai parameter tambahan, tetapi juga sebagai faktor koreksi dalam interpretasi data kualitas air [6].



Gambar 2.3 Sensor suhu DS18B20

(Sumber : https://kitsguru.com/products/ds18b20-waterproof-temperature-sensor-for-sonoff-th10a-th16a-1-meter-as-default-or-customized.)

2.2.6. Sensor pH

Sensor pH merupakan perangkat yang digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan berdasarkan konsentrasi ion hydrogen seperti yang ditunjukan pada gambar 2.4. Modul pH-4502C bekerja dengan prinsip elektrokimia menggunakan elektroda kaca yang sensitif terhadap perubahan konsentrasi ion H^+ dalam larutan. Sensor ini menghasilkan tegangan analog yang berbanding lurus dengan nilai pH, sehingga diperlukan proses kalibrasi untuk mengubah tegangan menjadi nilai pH yang akurat. Kalibrasi biasanya dilakukan menggunakan larutan buffer standar dengan pH tertentu, seperti pH 4, pH 7, dan

pH 10. Tanpa proses kalibrasi, pembacaan sensor pH cenderung mengalami deviasi yang cukup signifikan [18].

Nilai pH memiliki peran penting dalam menentukan kualitas air karena berkaitan langsung dengan reaksi kimia yang terjadi dalam air. Perubahan pH dapat mengindikasikan adanya kontaminasi atau perubahan komposisi kimia air. Dalam sistem tandon, perubahan pH dapat disebabkan oleh interaksi air dengan material penyimpanan atau masuknya zat asing.



Gambar 2.4 Sensor pH

(Sumber: https://indomaker.com/blog/tutorial-akses-sensor-tds-meter-menggunakan-arduino-uno/.)

.

Penggunaan sensor pH-4502C dalam sistem berbasis ESP32 telah menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi setelah dilakukan kalibrasi dengan benar, sehingga sensor ini banyak digunakan dalam penelitian monitoring kualitas air skala prototipe [3].

2.2.7. Sensor *Turbidity*

Sensor *turbidity* digunakan untuk mengukur tingkat kekeruhan air akibat adanya partikel tersuspensi seperti yang terlihat pada gambar 2.5. Secara prinsip, sensor ini bekerja berdasarkan perubahan intensitas cahaya yang diterima setelah cahaya melewati atau dipantulkan oleh sampel air. Semakin banyak partikel di dalam air, semakin besar perubahan karakteristik cahaya, sehingga nilai kekeruhan meningkat. Penelitian Manurung dkk. menggunakan sensor turbidity sebagai

parameter penting dalam pemantauan kualitas air dan menunjukkan bahwa sensor tersebut dapat bekerja dengan tingkat galat yang relatif rendah pada sampel pengujian [6].



Gambar 2.5 Sensor Turbidity

(Sumber: https://www.researchgate.net/figure/SEN0189-turbidity-sensor_fig5_361747059.)

Penelitian Widodo dkk. juga memasukkan parameter *turbidity* dalam sistem monitoring akuaponik berbasis IoT karena kekeruhan merepresentasikan kondisi fisik air yang tidak selalu tercermin dari pH atau TDS. Dengan demikian, sensor turbidity memberikan nilai tambah analitis karena mampu mendeteksi perubahan visual-fisik air yang relevan terhadap endapan, lumpur halus, atau kontaminan tersuspensi. Pada penelitian air minum kemasan dan isi ulang berbasis ESP32, sensor turbidity bahkan diposisikan sebagai parameter kelayakan utama bersama sensor pH [8].

2.2.8. Sensor *Total Disolved Solids (TDS)*

Sensor *TDS* atau *Total Dissolved Solids* dapat dilihat di 2.6. Digunakan untuk mengukur jumlah zat padat terlarut di dalam air, yang umumnya dinyatakan dalam satuan ppm atau mg/L. Besaran ini merepresentasikan kandungan mineral, garam, ion, atau zat terlarut lain yang memengaruhi kualitas air. Prinsip kerja sensor ini didasarkan pada konduktivitas listrik air, di mana semakin tinggi kandungan zat terlarut, semakin tinggi nilai konduktivitasnya [4].



Gambar 2.6 Sensor TDS Meter

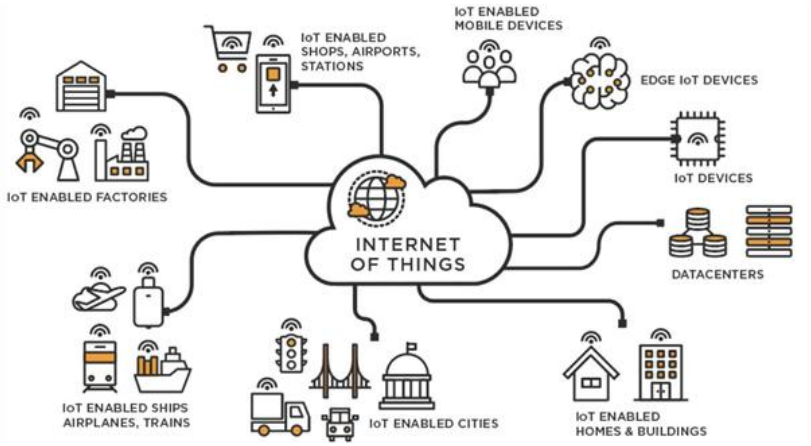
(Sumber: https://indomaker.com/blog/tutorial-akses-sensor-tds-meter-menggunakan-arduino-uno/)

Pada penelitian monitoring kualitas air budidaya ikan air tawar berbasis ESP32, sensor *TDS* digunakan bersama sensor pH dan suhu, dan hasil pengujian menunjukkan rata-rata galat pembacaan *TDS* sebesar 13,5%. Sementara itu, pada penelitian Armita dkk., sensor *TDS* meter Gravity V1.0 yang diintegrasikan dengan ESP32 menunjukkan akurasi sebesar 98,82%. Perbedaan hasil ini menunjukkan bahwa performa sensor *TDS* sangat dipengaruhi oleh kalibrasi, media uji, serta kualitas integrasi rangkaian dan algoritma pembacaan.

2.2.9. *Internet of Things (IoT*)

Internet of Things merupakan konsep yang memungkinkan perangkat fisik saling terhubung melalui jaringan untuk bertukar data secara otomatis. Dalam sistem monitoring kualitas air, *IoT* memungkinkan data sensor dikirim secara real-time ke server atau aplikasi pengguna atau akses dari jarak jauh [6].

Integrasi *IoT* memberikan keuntungan dalam hal efisiensi dan kemudahan pemantauan. Pengguna tidak perlu melakukan pengukuran secara langsung di lokasi karena data dapat diakses dari jarak jauh. Selain itu, sistem *IoT* memungkinkan pengembangan fitur lanjutan seperti notifikasi otomatis dan analisis data historis [6].



Gambar 2.7 nternet of Things

(Sumber: https://smkglobin.sch.id/mengenal-apa-itu-internet-of-things-iot/)

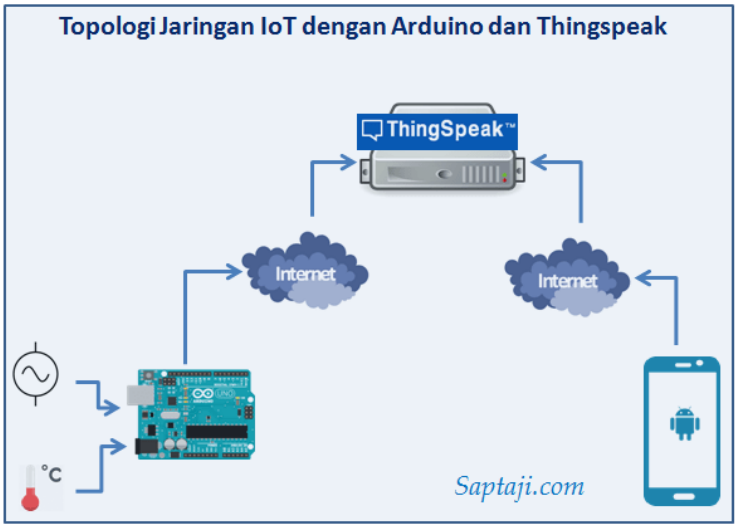
Penggunaan ESP32 dalam sistem *IoT* menjadi sangat relevan karena telah dilengkapi dengan modul Wi-Fi yang memungkinkan komunikasi data tanpa perangkat tambahan. Penelitian monitoring kualitas air berbasis *IoT* menunjukkan bahwa sistem ini mampu meningkatkan efektivitas pemantauan dan mempercepat pengambilan Keputusan. Penelitian Manurung dkk., Widodo dkk., dan Armita dkk. sama-sama menunjukkan bahwa integrasi ESP32 dengan aplikasi atau server menjadikan proses pemantauan kualitas air lebih efisien karena pengguna tidak harus mengamati kondisi air secara manual dan langsung di lokasi [6].

2.2.10. *ThingSpeak*

ThingSpeak adalah *platform Internet of Things (IoT)* berbasis cloud yang digunakan untuk menerima, menyimpan, menampilkan, dan menganalisis data dari perangkat yang terhubung ke internet. Platform ini banyak digunakan pada sistem monitoring karena mampu menampilkan data sensor dalam bentuk grafik maupun angka secara *real-time*. *ThingSpeak* juga mendukung pengiriman data dari mikrokontroler seperti ESP32, sehingga cocok digunakan pada sistem akuisisi data berbasis sensor [18].

Dalam penelitian ini, *ThingSpeak* digunakan sebagai media untuk menampilkan hasil pembacaan sensor kualitas air yang dikirim oleh ESP32. Data

yang diperoleh dari sensor disimpan pada channel *ThingSpeak*, kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik agar memudahkan pemantauan perubahan nilai parameter air seperti suhu, *TDS*, kekeruhan, dan pH. Dengan demikian, *ThingSpeak* mendukung proses monitoring kualitas air secara lebih praktis, terstruktur, dan mudah diakses [18].



Gambar 2.8 oT dengan Arduino dengan ThingSpeak
(Sumber: https://saptaji.com/iot-dengan-arduino-dan-thingspeak/)

Seperti pada gambar 2.8 penggunaan *ThingSpeak* pada penelitian ini dipilih karena platform ini mudah diintegrasikan dengan perangkat *IoT*, memiliki tampilan visual yang sederhana, serta mampu menyimpan data hasil pengukuran secara berkelanjutan. Oleh karena itu, *ThingSpeak* sesuai digunakan sebagai platform pendukung dalam sistem instrumentasi akuisisi data kualitas air berbasis ESP32.

2.2.11. Metode Penelitian *Research and Development (R&D)*

Metode Penelitian dan Pengembangan (R&D) merupakan pendekatan penelitian yang digunakan untuk menghasilkan produk tertentu serta menguji kelayakan atau kinerja produk tersebut. Dalam penelitian rekayasa, produk yang dikembangkan tidak terbatas pada perangkat lunak, tetapi juga dapat mencakup perangkat keras, sistem instrumentasi, prototipe pengukuran, atau sistem akuisisi

data. Oleh karena itu, metode R&D sesuai digunakan untuk penelitian yang berfokus pada perancangan, fabrikasi, pengujian, dan penyempurnaan suatu system [19].

Menurut Sugiyono, metode R&D melibatkan beberapa tahapan, di antaranya identifikasi potensi dan masalah, pengumpulan data atau informasi, desain produk, validasi desain, revisi desain, pengembangan produk, pengujian produk, revisi produk, dan penyempurnaan produk. Namun, dalam penelitian skripsi, tahapan-tahapan tersebut dapat disesuaikan dengan kebutuhan penelitian serta ruang lingkup pengembangan sistem.

Dalam penelitian ini, metode R&D diterapkan dalam bentuk yang terbatas dan dimodifikasi untuk memenuhi kebutuhan perancangan sistem instrumentasi akuisisi data kualitas air tandon. Produk yang dikembangkan adalah sistem berbasis ESP32 yang terintegrasi dengan sensor pH, kekeruhan, TDS, dan suhu DS18B20. Sistem ini dirancang untuk mengukur parameter kualitas air tandon yang bersumber dari air PDAM dan air tanah, serta mengirimkan data hasil pengukuran ke platform ThingSpeak untuk visualisasi data[19].

Tahapan R&D dalam penelitian ini meliputi identifikasi kebutuhan sistem, studi literatur, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak pendukung, pengembangan prototipe, pengujian pembacaan sensor, pengiriman data ke ThingSpeak, evaluasi hasil pengujian, dan revisi sistem apabila ditemukan ketidaksesuaian pada pembacaan sensor atau kinerja perangkat. Dengan demikian, metode R&D berfungsi sebagai kerangka kerja untuk menghasilkan sistem instrumentasi akuisisi data yang dapat diuji dan dievaluasi secara teknis.