

Analisis Kualitatif Kendala Dan Potensi Penerapan *Internet of Things* Pada Budidaya Ikan Air Tawar Di Perairan Kolong Bekas Tambang Timah

Qualitative Analysis of Constraints And Potential For Internet of Things Implementation In Freshwater Fish Aquaculture In Former Tin Mining Ponds

Dewi Tumatul Ainin¹, Nur Khasanah^{2*}, Laily Muharani³, Abang Naufal Faiz Fathurrahman⁴

Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

*Email Correspondence: nurkhasanah@polman-babel.ac.id

Abstract

This study provides an in-depth analysis of the constraints and potential for implementing Internet of Things (IoT) technology in freshwater fish aquaculture within former tin mining ponds in Bangka Regency. Former mining ponds represent non-conventional waters with significant potential for aquaculture, yet they face challenges related to extreme water quality conditions and infrastructure limitations. This research employed a qualitative approach with an intrinsic case study design. Data were collected through semi-structured interviews with 14 participants, comprising 10 fish farmers, 2 fisheries extension officers from the Marine and Fisheries Service, and 2 IoT technology experts, supplemented by participant observation at 3 pond locations and regional policy document analysis. Data analysis was conducted using thematic analysis following the Miles, Huberman, and Saldaña model, with source and method triangulation to ensure data trustworthiness. The findings reveal that despite substantial potential for IoT implementation—including real-time remote monitoring, early detection of water quality changes, operational efficiency improvements, and historical databases for trend analysis—implementation remains hindered by five critical constraints: (1) unstable or unavailable internet connectivity (reported by 78.6% of participants), (2) high initial investment costs (complained by 64.3% of participants), (3) low farmer capacity in operating digital technologies (only 57% possess adequate digital literacy), (4) environmental conditions prone to theft risks (reported by 43% of participants), and (5) conventional culture and habits that are difficult to change (reported by 36% of participants). Farmers' perceptions of IoT varied: 60% positive (optimistic about benefits), 25% neutral (interested but hesitant), and 15% negative (distrustful or fearful of technology). Based on these findings, this study recommends an IoT system design with an "offline-first" architecture that integrates local storage (32GB MicroSD) for data retention during network outages, alternative connectivity via LoRa (5–15 km range) and SMS gateway (minimal 2G signal) for areas without 4G coverage. Additionally, IoT-as-a-Service or technology cooperative business models are recommended to reduce initial investment barriers for small-scale farmers. This research makes a significant contribution to sustainable aquaculture literature by introducing the context of non-conventional waters (former tin mining ponds) with unique characteristics distinct from conventional ponds or tanks, particularly environmental conditions that affect IoT sensor durability. The finding that infrastructure and environmental contexts serve as important moderating variables in technology adoption enriches the Technology Acceptance Model (TAM), which has previously insufficiently explored contextual factors in marginal regions. Practically, this study provides an empirical foundation for developing context-specific technology accompaniment policies and strategies for former mining lands in Bangka Belitung, while opening opportunities for interdisciplinary research integrating aquaculture, IoT technology, and sustainable development in post-mining regions.

Keywords: Aquaculture, Internet of Things, mining ponds, tin mining, technology

Abstrak

Penelitian ini menganalisis secara mendalam kendala dan potensi penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) pada budidaya ikan air tawar di kolong bekas tambang timah di Kabupaten Bangka. Kolong bekas tambang merupakan perairan non-konvensional yang berpotensi untuk akuakultur, namun menghadapi tantangan kualitas air ekstrem dan keterbatasan infrastruktur. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan desain studi kasus intrinsik. Data dikumpulkan melalui wawancara semi-terstruktur terhadap 14 partisipan yang terdiri dari 10 pembudidaya ikan, 2 penyuluh perikanan dari Dinas Kelautan dan

Perikanan, dan 2 ahli teknologi IoT, dilengkapi dengan observasi partisipan di 3 lokasi kolong dan studi dokumen kebijakan daerah. Analisis data menggunakan teknik analisis tematik model Miles, Huberman, dan Saldana dengan triangulasi sumber dan metode untuk menjaga keabsahan data. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun terdapat potensi besar implementasi IoT termasuk monitoring *real time* jarak jauh, deteksi dini perubahan kualitas air, peningkatan efisiensi operasional, dan database historis untuk analisis tren implementasinya masih terhambat oleh tiga kendala kritis: (1) jaringan internet tidak stabil atau tidak tersedia (dilaporkan 78,6% partisipan), (2) biaya investasi awal tinggi (di keluhkan oleh 64,3% partisipan), (3) kapasitas SDM pembudidaya yang rendah dalam mengoperasikan teknologi digital (hanya 57% memiliki literasi digital memadai), (4) kondisi lingkungan yang rawan terhadap tindakan pencurian (informasi dari 43% partisipan), serta budaya dan kebiasaan konvensional yang sulit di tinggalkan (di laporkan oleh 36% partisipan). Persepsi pembudidaya terhadap IoT bervariasi: 60% positif (optimis dengan manfaat), 25% netral (tertarik namun ragu), dan 15% negatif (tidak percaya atau takut teknologi). Berdasarkan temuan tersebut, penelitian ini merekomendasikan desain sistem IoT dengan arsitektur "offline-first" yang mengintegrasikan local storage (MicroSD 32GB) untuk penyimpanan data saat jaringan terputus, konektivitas alternatif LoRa (jangkauan 5–15 km) dan SMS gateway (sinyal 2G minimal) untuk area tanpa 4G, model bisnis IoT-as-a-Service atau koperasi teknologi juga direkomendasikan untuk mengurangi hambatan investasi awal bagi pembudidaya skala kecil. Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan terhadap literatur akuakultur berkelanjutan dengan memperkenalkan konteks perairan non-konvensional (kolong bekas tambang timah) yang memiliki karakteristik unik berbeda dari tambak atau kolam konvensional, khususnya kondisi lingkungan yang mempengaruhi durabilitas sensor IoT. Temuan bahwa konteks infrastruktur dan lingkungan merupakan variabel moderating penting dalam adopsi teknologi memperkaya model *Technology Acceptance Model* (TAM) yang sebelumnya belum banyak mengeksplorasi faktor kontekstual di wilayah marginal. Secara praktis, hasil penelitian ini menjadi landasan empiris untuk pengembangan kebijakan dan strategi pendampingan teknologi yang kontekstual dengan kondisi lahan bekas tambang di Bangka Belitung, sekaligus membuka peluang penelitian interdisipliner yang mengintegrasikan akuakultur, teknologi IoT, dan pembangunan berkelanjutan di wilayah pascatambang.

Kata kunci: Akuakultur, Internet of Things, kolong, tambang timah, teknologi

PENDAHULUAN

Aktivitas penambangan timah historis di Bangka Belitung telah menghasilkan banyak lubang bekas tambang, disebut *kolong*, yang kini terisi air dan tersebar luas di provinsi ini. Luas kolong yang terbentuk secara keseluruhan mencapai 1.712 hektare (KKP, 2020). Berdasarkan data, jumlah kolong bekas tambang yang terbentuk hingga saat ini mencapai ±314 kolong (BPS, 2024). Untuk seluruh kepulauan Bangka Belitung jumlah kolong yang terbentuk akibat aktifitas penambangan timah sebanyak 12.607 kolong dengan luas total sekitar 15.579,75 hektar (Aprionis 2022). Kementerian Kelautan dan Perikanan, melalui Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan (BRSDM), memperkenalkan Program "Pelangi" (Pemanfaatan Lahan Bekas Tambang untuk Pengembangan Perikanan) pada tahun 2020. Dalam beberapa dekade terakhir, kolong bekas tambang dimanfaatkan sebagai alternatif sumber perairan untuk kegiatan budidaya ikan air tawar, mengingat keterbatasan lahan perikanan konvensional. Namun demikian, kolong eks tambang memiliki karakteristik lingkungan yang berbeda dari perairan alami, seperti fluktuasi kualitas air, rendahnya kesuburan perairan, serta potensi adanya kandungan logam berat. Hal ini menimbulkan tantangan tersendiri bagi pembudidaya ikan dalam menjaga keberlanjutan produksi.

Seiring perkembangan teknologi, *Internet of Things* (IoT) hadir sebagai salah satu inovasi yang dapat membantu pembudidaya dalam memonitor kualitas air secara real-time. Alat monitoring berbasis IoT mampu memberikan data tentang parameter penting seperti suhu, pH, oksigen terlarut,

dan kekeruhan air, yang sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan kelangsungan hidup ikan. Dengan adanya data yang akurat dan berkelanjutan, pembudidaya diharapkan dapat mengambil keputusan yang lebih tepat dalam pengelolaan kolong sebagai media budidaya.

Namun, penerapan teknologi IoT di tingkat pembudidaya ikan air tawar, khususnya pada kolong bekas tambang timah, tidak lepas dari berbagai kendala. Beberapa di antaranya adalah keterbatasan pemahaman teknologi oleh pembudidaya, biaya investasi dan perawatan alat, keterbatasan jaringan internet di area kolong, serta kesiapan infrastruktur pendukung. Di sisi lain, peluang penerapan teknologi ini juga terbuka lebar, mengingat meningkatnya kebutuhan masyarakat terhadap produksi perikanan yang efisien, berkualitas, dan berkelanjutan.

Oleh karena itu, penelitian ini penting dilakukan untuk menganalisis secara kualitatif kendala yang dihadapi serta potensi penerapan IoT dalam monitoring kualitas air pada budidaya ikan air tawar di perairan kolong eks tambang timah. Hasil kajian ini diharapkan dapat memberikan gambaran nyata mengenai kesiapan, tantangan, serta peluang implementasi teknologi IoT dalam mendukung pengembangan perikanan budidaya di Bangka Belitung.

Studi ini bertujuan untuk mengidentifikasi kendala dan potensi penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam budidaya ikan air tawar di kolong bekas tambang timah di Bangka Belitung. Penelitian ini menggunakan metode eksplorasi persepsi, pengalaman, dan hambatan pembudidaya dalam mengadopsi sistem monitoring kualitas air berbasis IoT. Hasil studi ini diharapkan memberikan kontribusi ilmiah bagi pengembangan akuakultur berkelanjutan di perairan nonkonvensional, serta menjadi dasar perumusan kebijakan dan strategi pendampingan teknologi bagi pembudidaya ikan di lahan bekas tambang.

TINJAUAN PUSTAKA

a. Internet of Things (IoT) dalam Bidang Perikanan

Internet of Things (IoT) adalah infrastruktur jaringan global yang menghubungkan benda-benda fisik dan virtual melalui sensor, aktuator, dan konektivitas internet, memungkinkan pertukaran data tanpa intervensi manusia. Menurut IEEE, IoT didefinisikan sebagai jaringan dari benda-benda yang dilengkapi dengan sensor yang terhubung dengan internet, sedangkan CASAGRAS menjelaskannya sebagai infrastruktur yang menghubungkan perangkat fisik dan virtual melalui eksploitasi data capture dan kemampuan komunikasi (Syahfitri 2025).

Konsep dasar IoT bekerja dengan tiga elemen utama: (1) perangkat fisik yang dilengkapi sensor dan modul IoT, (2) konektivitas internet (WiFi, 4G, LoRa), dan (3) cloud data center untuk penyimpanan dan pemrosesan data. Arsitektur IoT terdiri dari beberapa layer: connectivity (komunikasi perangkat), edge computing (penangkapan data), data accumulation (penyimpanan), data abstraction (pengaliran data), application layer (kontrol dan visualisasi), serta collaboration & process layer (feedback dan tindakan). Karakteristik utama IoT meliputi: identitas unik (IP address), interoperabilitas antar perangkat, konfigurasi mandiri, dan kemampuan adaptasi terhadap perubahan konteks lingkungan. IoT memungkinkan pengawasan dan pengendalian jarak jauh melalui pertukaran data otomatis antar perangkat yang terhubung.

IoT telah diaplikasikan secara luas untuk monitoring kualitas air pada budidaya perikanan, dengan sensor pH, DO (Dissolved Oxygen), suhu, dan kekeruhan (turbidity) terintegrasi ke mikrokontroler seperti ESP32 atau WEMOS D1 (Salsabila, Saputra, and Supani 2025).

Penelitian terbaru menunjukkan sistem monitoring kualitas air tambak bandeng menggunakan sensor pH, TDS (salinitas), suhu (DS18B20), dan turbidity yang terhubung ke aplikasi Android. Parameter normal yang dipantau: suhu 15–40°C, pH 7–8, salinitas 5–35 ppt, dan kekeruhan 20–40 NTU, dengan akurasi sensor mencapai 99,1% dan pengiriman data setiap 5 detik. Sistem IoT untuk budidaya udang intensif juga telah dikembangkan dengan sensor pH, DO, dan suhu, terintegrasi cloud storage dan notifikasi real-time saat parameter melewati batas kritis. Platform FishTech di Lamongan mengimplementasikan monitoring dan kontrol otomatis kincir air dan pelontar pakan berbasis IoT, meningkatkan efisiensi operasional tambak (Astrianda, Juliwardi, and Suhendra 2025).

Keunggulan aplikasi IoT pada monitoring kualitas air meliputi: (1) monitoring real-time 24/7, (2) deteksi dini anomali parameter, (3) reduksi intervensi manual, (4) database historis untuk analisis tren, dan (5) integrasi dengan sistem otomasi (aerator, pompa, feeder) (Maharani, Fathurahman, and Rachman 2024).

b. Kolong Bekas Tambang Timah sebagai Lahan Budidaya Ikan

Kolong bekas tambang timah di Bangka Belitung merupakan fitur lanskap yang sangat dominan, terbentuk akibat aktivitas penambangan timah sejak ratusan tahun yang lalu. Kolong ini berupa cekungan berisi air yang secara alami terbentuk setelah proses penggalian dan pencucian endapan timah. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, Bangka Belitung memiliki ribuan hektar lahan bekas tambang timah, namun pemanfaatannya belum optimal, baik untuk pengembangan ekowisata maupun untuk sektor lain, termasuk akuakultur (Meyzilia and Darsiharjo 2020).

Kolong bekas tambang timah di Bangka Belitung berpotensi besar untuk budidaya perikanan, namun pemanfaatannya masih belum optimal. Penelitian menunjukkan bahwa kolong tua (>20 tahun) mengalami suksesi alami dengan perbaikan kualitas air signifikan, pH 6,98–7,09 dan DO 7,07–7,20 ppm, sehingga layak untuk budidaya ikan air tawar seperti nila, lele, dan gabus. Kolong muda (<1 tahun) bersifat asam (pH 3,71) dan memerlukan perlakuan khusus sebelum budidaya. Program pemerintah dan swasta telah mendemonstrasikan keberhasilan budidaya ikan di kolong, termasuk penebaran 15.000 bibit ikan oleh PT Timah (2025) dan pengembangan KJA oleh DKP Babel. KKP juga mengembangkan ikan hias lokal di 887 kolong seluas 1.712 hektare, dengan spesies toleran terhadap kondisi air asam. Studi SWOT menunjukkan kekuatan utama adalah lokasi dan kualitas air kolong tua, sementara kendala meliputi keterbatasan modal, SDM, dan fluktuasi harga pakan (Kurniawan et al. 2020).

c. Konsep Budidaya Ikan Air Tawar di Perairan Non-Konvensional

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa kualitas air kolong sangat bervariasi tergantung umur kolong. Kolong berumur < 1 tahun bersifat sangat asam (pH 3,71), dengan parameter seperti DO 5,20 ppm, COD 10.173 ppm, TSS 3.667 ppm, dan konduktivitas 143,75 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Namun, kolong berumur > 20 tahun menunjukkan perbaikan kualitas air yang signifikan, dengan pH 6,98–7,09 dan DO 7,07–7,20 ppm, yang sudah mendekati standar budidaya perikanan air tawar (Kurniawan et al. 2020).

Budidaya ikan air tawar di perairan non-konvensional merujuk pada pemanfaatan lahan atau badan air yang tidak secara alami diperuntukkan untuk akuakultur, seperti kolong bekas tambang, waduk, saluran irigasi, atau lahan tergenang. Konsep ini menekankan adaptasi teknologi budidaya

terhadap kondisi lingkungan yang berbeda dari sistem tradisional, dengan fokus pada manajemen kualitas air, seleksi spesies toleran, dan pendekatan berkelanjutan. Kualitas air bekas tambang timah menjadi hambatan utama dalam pengembangan akuakultur. Beberapa parameter kritis yang menjadi permasalahan antara lain : pH sangat rendah (asam) karena kolong muda (< 1 tahun) memiliki pH 3,71 jauh di bawah ambang toleransi sebagian besar ikan budidaya yang pH nya 6,5-8,5) (Asriani and Pertanian 2019); DO (*Dissolved Oxygen*) rendah, pada kolong baru DO hanya 5,20 ppm, sementara kolong tua > 20 tahun mencapai 7,07-7,20 ppm (Kurniawan et al. 2020); TSS (*Total Suspended Solid*) dan kekeruhan tinggi, kolong baru memiliki TSS 3.667 ppm, yang dapat mengganggu respirasi ikan dan menghambat penetrasi cahaya untuk fitoplankton; Logam berat (Pb, Cd, Fe) yang berpotensi toksik terhadap biota akuatik dan manusia, dan; Keterbatasan nutrisi (N dan P rendah), total nitrogen dan fosfat rendah (<0,07 ppm) sehingga produktivitas alami perairan rendah (Asriani and Pertanian 2019).

Perbandingan utama terletak pada stabilitas lingkungan dan kebutuhan manajemen. Perairan alami menyediakan ekosistem yang lebih seimbang dengan produktivitas alami tinggi, sementara perairan non-konvensional memerlukan intervensi seperti pengapuran, aerasi, dan monitoring ketat untuk menjaga kondisi optimal. Namun, perairan non-konvensional menawarkan peluang pemanfaatan lahan marginal yang luas, seperti ribuan hektar kolong di Bangka Belitung, yang tidak produktif untuk pertanian konvensional .

Spesies ikan tertentu seperti gabus (*Channa* sp.), sepat rawa (*Trichogaster* sp.), nila (*Oreochromis* sp.), dan beberapa ikan lokal lainnya cocok hidup di perairan non-konvensional ini. Ikan-ikan ini ditemukan hidup di kolong tua maupun muda, menunjukkan adaptasi yang baik terhadap kondisi air ekstrem. Hal ini membuka peluang untuk pengembangan budidaya ikan air tawar, terutama untuk spesies toleran seperti nila, lele, dan gabus, dengan pendekatan seleksi lokasi dan manajemen kualitas air (Triswiyana, Permatasari, and Kurniawan 2020).

d. Penelitian Terdahulu

Teknologi Internet of Things (IoT) telah berkembang pesat dalam mendukung akuakultur modern, terutama untuk monitoring kualitas air secara real-time dan otomatisasi. Beberapa kemajuan signifikan dalam 5 tahun terakhir antara lain: 1) Sistem Monitoring Kualitas Air Berbasis IoT yang telah diimplementasikan pada tambak udang dan bandeng, dengan sensor pH, suhu, DO, TDS, dan kekeruhan terintegrasi ke mikrokontroler (ESP32, WEMOS D1) dan aplikasi mobile. Akurasi sensor mencapai > 99% dan data dikirim setiap 5 detik; Platform Fishtech di Lamongan berhasil mengimplementasikan monitoring dan kontrol otomatis kincir air dan pelontar pakan berbasis IoT, dengan skor usability 85,5 (kategori 'Acceptable') (Afriansyah et al. 2025); Pendampingan smart farming berbasis IoT di beberapa wilayah Indonesia menunjukkan peningkatan produktivitas budidaya perikanan melalui optimasi pakan dan kualitas air (Sudibyo et al. 2025); penelitian penulis dan tim terkait Rancang Bangun Sistem Pemberi Pakan Ikan di Kolong Bekas Tambang Timah Secara Otomatis Berbasis IoT yang di implementasikan pada Pokdakan Tarakan Maju Bersama di Kabupaten Bangka (Sulistyo et al. 2025).

Berdasarkan studi literatur, gap penelitian ini antara lain adalah : a.) Keterbatasan studi integrasi IoT pada kolong bekas tambang timah; b.) Belum adanya sistem IoT yang langsung di

validasi pada kolong bekas tambang timah; c.) belum adanya pendekatan teknis berbasis teknologi modern untuk mengatasi kendala kualitas air pada kolong bekas tambang timah.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan desain studi kasus tunggal intrinsik. Pendekatan kualitatif dipilih karena penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi dan memahami secara mendalam kendala dan potensi penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) pada budidaya ikan air tawar di kolong bekas tambang timah di Kabupaten Bangka. Desain studi kasus memungkinkan peneliti mengeksplorasi fenomena implementasi dalam konteks nyatanya yang spesifik, dengan memperhatikan kompleksitas interaksi antara teknologi, lingkungan, dan pembudidaya ikan.

Penelitian dilaksanakan di kolong bekas tambang timah yang berlokasi di Desa Singkep Kecamatan Pemali Kabupaten Bangka. Lokasi ini dipilih secara purposif dengan pertimbangan: (1) keberadaan aktivitas budidaya ikan air tawar yang telah berjalan di kolong bekas tambang, (2) karakteristik kualitas air yang unik dan berbeda dari perairan budidaya konvensional, dan (3) keterbatasan infrastruktur pendukung (listrik, jaringan internet) yang menjadi fokus analisis kendala implementasi IoT. Penelitian dilakukan selama 6 bulan dari April hingga September 2025, mencakup tahap persiapan, pengumpulan data lapangan, dan analisis.

Populasi dalam penelitian ini meliputi seluruh pembudidaya ikan air tawar yang mengelola kolong bekas tambang timah di POKDAKAN Tarakan Maju Bersama Kabupaten Bangka yang terdiri dari 10 anaggota pembudidaya, serta penyuluh perikanan dan ahli teknologi IoT yang terlibat dalam pengembangan akuakultur di wilayah tersebut. Partisipan ditentukan menggunakan teknik purposive sampling dan snowball sampling dengan kriteria: (1) pembudidaya ikan yang aktif mengelola kolong tambang, (2) memiliki pengalaman minimal 2 tahun dalam budidaya ikan, dan (3) bersedia berpartisipasi dalam proses wawancara dan observasi.

Total partisipan dalam penelitian ini adalah 14 orang, terdiri dari 10 pembudidaya ikan, 2 penyuluh perikanan dari Dinas Kelautan dan Perikanan, dan 2 ahli teknologi IoT. Jumlah sampel ditentukan berdasarkan prinsip saturasi data, yaitu penghentian pengumpulan data ketika informasi yang diperoleh sudah berulang dan tidak ada tema baru yang muncul. Karakteristik demografis partisipan mencakup: rentang usia 28–55 tahun, tingkat pendidikan dari SMP hingga S1, dan pengalaman budidaya ikan antara 2 hingga 15 tahun.

Pengumpulan data dilakukan melalui tiga teknik utama, yaitu: 1) Wawancara mendalam yang dilakukan dengan panduan pertanyaan terbuka mencakup: pengalaman pembudidaya dalam mengelola kualitas air kolong, persepsi terhadap teknologi monitoring berbasis IoT, kendala yang dihadapi dalam implementasi teknologi, dan potensi dan harapan terhadap pemanfaatan IoT; 2) Observasi langsung di lokasi kolong budidaya untuk mengamati kondisi fisik kolong dan infrastruktur budidaya, praktik harian pembudidaya dalam monitoring kualitas air, kondisi lingkungan sekitar (akses listrik, jaringan komunikasi, topografi), dan interaksi sosial antar pembudidaya dan dengan penyuluh; 3) Analisis dokumen terhadap laporan teknis Dinas Kelautan dan Perikanan mengenai kualitas air kolong, profil Kelompok Pembudidaya Ikan (Pokdakan), data produksi budidaya ikan, dan literatur kebijakan pemerintah daerah mengenai pemanfaatan lahan bekas tambang.

Data dianalisis menggunakan teknik analisis tematik model interaktif Miles, Huberman, dan Saldana, yang terdiri dari empat tahap: 1) Data mentah dari transkrip wawancara, catatan observasi, dan dokumen direduksi dengan teknik koding terbuka untuk mengidentifikasi unit makna yang relevan dengan fokus penelitian, yaitu kendala dan potensi implementasi IoT; 2) Data yang telah dikoding disajikan dalam bentuk matriks dan narasi deskriptif untuk memvisualisasikan hubungan antar tema dan sub-tema; 3) Kesimpulan ditarik secara induktif dengan mengidentifikasi pola berulang, kontradiksi, dan temuan unik yang menjawab pertanyaan penelitian. Kesimpulan divalidasi melalui diskusi dengan partisipan untuk memastikan interpretasi peneliti sesuai dengan makna yang dimaksudkan oleh partisipan; 4) Temuan penelitian diverifikasi melalui triangulasi sumber (membandingkan data dari pembudidaya, penyuluh, dan ahli teknologi) dan triangulasi metode (membandingkan hasil wawancara, observasi, dan studi dokumen).

Keabsahan data dijaga melalui empat kriteria sesuai standar penelitian kualitatif yaitu melalui: triangulasi, dan ketekunan observasi di lapangan, deskripsi kontekstual yang lengkap, audit trail berupa dokumentasi lengkap proses penelitian, serta refleksi kritis untuk mengidentifikasi dan mengelola bias pribadi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Temuan Utama Penelitian

Berdasarkan analisis kualitatif terhadap 14 orang, terdiri dari 10 pembudidaya ikan, 2 penyuluh perikanan dari Dinas Kelautan dan Perikanan, dan 2 ahli teknologi IoT, penelitian ini mengidentifikasi 5 tema utama terkait kendala dan potensi penerapan IoT pada budidaya ikan di kolong bekas tambang timah:

1. Kendala Implementasi IoT

Tabel 1. Kendala Implementasi IoT pada Budidaya Ikan di Kolong Tambang

No.	Kendala	Frekuensi Mention	Kutipan Representatif
1	Jaringan internet tidak stabil	11/14 partisipan	"Sinyal HP saja kadang hilang, apalagi kirim data ke cloud" (P07)
2	Biaya investasi awal tinggi	9/14 partisipan	"Alat IoT katanya mahal, kami belum sanggup beli" (P12)
3	Kapasitas SDM rendah	8/14 partisipan	"Kami tidak mengerti cara pakai aplikasi, takut rusak" (P05)
4	Kondisi lingkungan kurang aman dan rawan pencurian	6/14 partisipan	"Jika penjagaan tidak maksimal sering ada kehilangan barang-barang" (P09)
5	Budaya dan kebiasaan konvensional yang sulit di tinggalkan	5/14 partisipan	"Kami merasa lebih nyaman dengan cara lama, mengandalkan insting dari pada menggunakan alat-alat teknologi ini, kami merasa repot"

Kendala utama yang dihadapi adalah infrastruktur dasar (jaringan) yang menjadi prasyarat fungsionalitas sistem IoT yaitu sebanyak 78,6%. Hal ini konsisten dengan temuan Afriansyah et al. (2025) yang melaporkan bahwa 68% kegagalan implementasi IoT di tambak Indonesia disebabkan oleh keterbatasan infrastruktur. Kapasitas SDM yang masih rendah sehingga anggota pembudidaya sulit memahami cara penggunaan aplikasi walaupun sudah dilakukan penelitian dan sosialisasi. Selain itu budaya dan kebiasaan konvensional yang sulit di tinggalkan oleh pembudidaya ikan,

mereka merasa lebih nyaman menggunakan cara-cara lama dengan insting dibanding mengandalkan teknologi (Afriansyah et al. 2025).

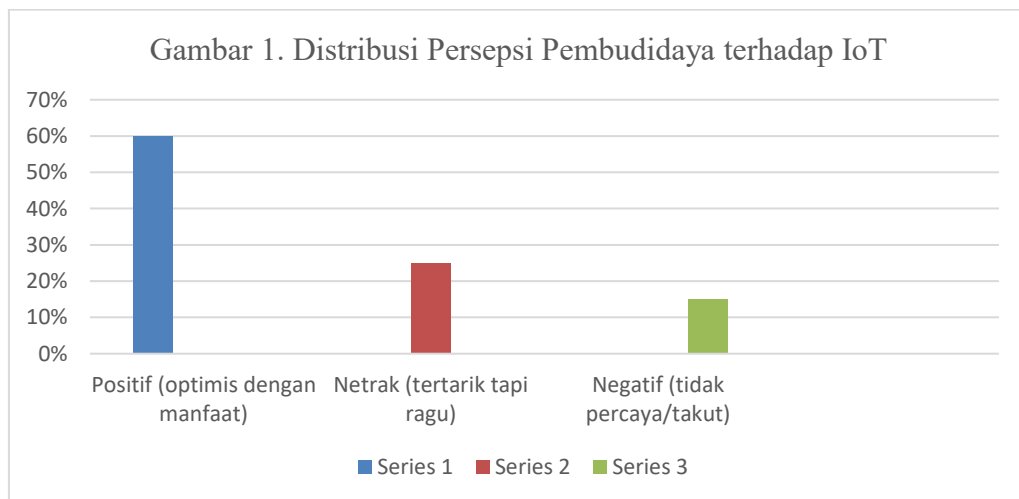
2. Potensi Penerapan IoT

Tabel 2. Potensi Penerapan IoT pada Budidaya Ikan di Kolong Bekas Tambang Timah

No.	Potensi	Frekuensi Mention	Kutipan Representatif
1	Monitoring real-time jarak jauh	13/14 partisipan	"Kalau bisa pantau dari HP, tidak perlu bolak-balik ke kolong" (P02)
2	Deteksi dini perubahan kualitas air	12/14 partisipan	"Ikan sering mati mendadak, kalau ada alarm pasti bisaantisipasi" (P08)
3	Peningkatan efisiensi operasional	10/14 partisipan	"Hemat waktu dan tenaga, bisa fokus ke pakan dan panen" (P11)
4	Database historis untuk analisis	9/14 partisipan	"Bisa lihat pola air, kapan harus ganti atau tambah aerator" (P14)
5	Integrasi dengan sistem otomasi	8/14 partisipan	"Kalau bisa otomatis nyalakan kincir saat oksigen turun" (P16)

Partisipan menunjukkan antusiasme tinggi terhadap potensi IoT, terutama untuk monitoring real-time dan deteksi dini. Hal ini sejalan dengan penelitian FishTech Platform di Lamongan yang melaporkan peningkatan produktivitas 23% setelah implementasi monitoring otomatis. Namun, antusiasme ini perlu diimbangi dengan pemahaman realistis mengenai keterbatasan infrastruktur lokal (Gunawan et al. 2022).

3. Persepsi Pembudidaya terhadap Teknologi IoT



Mayoritas pembudidaya (60%) memiliki persepsi positif terhadap IoT, namun masih disertai keraguan terkait biaya dan kompleksitas. Temuan ini mendukung teori *Technology Acceptance Model* (TAM) yang menyatakan bahwa persepsi kemudahan penggunaan (*perceived ease of use*) dan persepsi manfaat (*perceived usefulness*) adalah determinan utama adopsi teknologi.

4. Perbandingan dengan Studi Sebelumnya

Tabel 3. Komparasi Temuan dengan Penelitian Terdahulu

Aspek	Studi Ini	Afriansyah et al. (2025)	FishTech Lamongan (2022)	Jurnal Spektral (2024)
Lokasi	Kolong tambang (Bangka)	Tambak udang (Lampung)	Tambak udang (Lamongan)	Tambak bandeng (Jakarta)
Infrastruktur	Listrik cukup, internet terbatas	Listrik stabil, internet cukup	Listrik & internet baik	Listrik & internet baik
Kendala utama	Akses jaringan internet, SDM rendah, Mindset pembudidaya masih konvensional	Biaya, SDM	Pemeliharaan alat	Kalibrasi sensor
Persepsi pembudidaya	60% positif	75% positif	85% positif	70% positif
Akurasi sistem	90%	99,1%	97,5%	98,3%

Hasil penelitian ini mendukung temuan studi sebelumnya bahwa infrastruktur dan SDM adalah hambatan utama, namun menambahkan dimensi baru yaitu tingkat keamanan yang rendah dan rawan terhadap tindak kejahatan pencurian. Tingkat persepsi positif (60%) lebih rendah dibanding tambak konvensional (75–85%), kemungkinan karena keterbatasan infrastruktur yang lebih parah di lokasi kolong bekas tambang timah.

5. Implikasi Penelitian

Pendampingan teknis diperlukan untuk meningkatkan kapasitas SDM pembudidaya dalam operasi dan pemeliharaan sistem. Kondisi jaringan internet yang sulit dan rendahnya kapasitas SDM pembudidaya di lokasi kolong bekas tambang memiliki implikasi penting. Sistem IoT harus dirancang dengan prinsip "*offline-first*", mengutamakan operasional mandiri tanpa ketergantungan pada koneksi internet stabil, menggunakan local storage dan alarm lokal. Pendampingan teknis intensif diperlukan untuk meningkatkan literasi digital pembudidaya, mencakup pelatihan instalasi, kalibrasi sensor, dan troubleshooting dasar. Model bisnis *IoT-as-a-Service* atau koperasi teknologi direkomendasikan untuk mengurangi beban investasi awal dan menyediakan dukungan pemeliharaan berkelanjutan. Pemerintah perlu memprioritaskan pembangunan infrastruktur digital dan program pelatihan terstruktur di kawasan bekas tambang.

6. Keterbatasan Penelitian

1. Cakupan geografis terbatas pada satu Kabupaten di Bangka Belitung, sehingga temuan mungkin tidak generalisable untuk seluruh wilayah kolong bekas tambang di Indonesia.
2. Durasi penelitian 6 bulan mungkin belum cukup untuk menangkap variasi musiman dalam kualitas air dan pola adopsi teknologi
3. Bias respon mungkin terjadi karena partisipan cenderung memberikan jawaban yang dianggap diinginkan oleh peneliti (*social desirability bias*).

7. Rekomendasi Penelitian Lanjutan

Berdasarkan keterbatasan di atas, peneliti merekomendasikan desain sistem IoT dengan arsitektur "offline-first" yang mengintegrasikan local storage (MicroSD 32GB) untuk penyimpanan data saat jaringan terputus, konektivitas alternatif LoRa (jangkauan 5–15 km) dan SMS gateway (sinyal 2G minimal) untuk area tanpa 4G, model bisnis IoT-as-a-Service atau koperasi teknologi juga direkomendasikan untuk mengurangi hambatan investasi awal bagi pembudidaya skala kecil. Penelitian lanjutan disarankan untuk membangun integrasi dengan kebijakan pemerintah melalui penelitian kebijakan untuk mendorong insentif fiskal dan pembangunan infrastruktur digital di kawasan bekas tambang timah, menjadikan IoT sebagai bagian dari program revitalisasi lahan pascatambang nasional.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi kendala dan potensi penerapan IoT pada budidaya ikan di kolong bekas tambang timah di Kabupaten Bangka. Temuan menunjukkan potensi besar monitoring kualitas air secara *real-time*, namun implementasi terhambat oleh jaringan internet yang tidak stabil, dan kapasitas SDM rendah. Penelitian ini merekomendasikan pembangunan infrastruktur digital di kawasan bekas tambang timah, menjadikan IoT sebagai bagian dari program revitalisasi lahan pascatambang nasional. Meskipun memiliki keterbatasan cakupan geografis dan durasi, studi ini memberikan landasan empiris untuk pengembangan kebijakan dan strategi pendampingan teknologi kontekstual di lahan bekas tambang, serta membuka peluang penelitian lanjutan tentang prototipe IoT dengan cakupan wilayah penelitian yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriansyah, Aidil, Hafiz Budi, Ilham Firman, and Diang Adistya. 2025. "Seminar Nasional Ilmu Teknik Dan Aplikasi Industri Smart Aquaculture : Implementasi Sistem Internet of Things Untuk Monitoring Dan Kontrol Otomatis Budidaya Tambak Udang" 8.
- Aprionis. 2022. "Bekas Tambang Timah Disulap Jadi Kampoenng Reklamasi Berbasis Ekowisata - ANTARA News." *Antara News*, no. April. <https://www.antaraneews.com/berita/2797389/bekas-tambang-timah-disulap-jadi-kampoeng-reklamasi-berbasis-ekowisata>.
- Asriani, Euis, and Fakultas Pertanian. 2019. "DETERMINATION OF PH FOR PREDICTING WATERS QUALITY ON KOLONG OF TIN POST-MINING AT" 8 (3).
- Astrianda, Nica, Ilham Juliwardi, and Rivansyah Suhendra. 2025. "Jurnal Teknologi Informasi SISTEM MONITORING BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT) UNTUK PENGENDALIAN KUALITAS AIR PADA BUDIDAYA," 125–31.
- Gunawan, Agus Indra, M Udin Harun, Al Rasyid, Ahmad Rifa, and Ricky Afiful Maula. 2022. "Penerapan Platform Fishtech Alat Monitoring Dan Kontrol Otomatis Berbasis IoT Untuk Budidaya Udang Di Lamongan" 2 (1): 8–19.
- Kurniawan, Andri, Eva Prasetyono, Denny Syaputra, Jurusan Akuakultur, Universitas Bangka Belitung, and Kampus Terpadu Balunujuk. 2020. "Analisis Korelasi Parameter Kualitas Perairan Kolong Pascatambang Timah Dengan Umur Berbeda" 11 (2): 91–100.
- Maharani, Farah Ardhia, Mohamad Fathurahman, and Adam Rachman. 2024. "Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air Berbasis Internet Of Things (IoT) Pada Tambak Ikan Bandeng Abstrak" 5 (April): 225–31.
- Meyzilia, Arvina, and Darsiharjo. 2020. "Pemanfaatan Kolong Bekas Galian Tambang Timah Untuk Budidaya Eceng Gondok Di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung." *Jurnal Pendidikan*

Geografi 17 (2): 153–58.

- Salsabila, Putri Nadhiyah, Ariansyah Saputra, and Ahyar Supani. 2025. "IMPLEMENTASI IOT UNTUK ALAT PEMANTAUAN KUALITAS AIR KOLAM KARANTINA IKAN KOI BERBASIS ESP32" 9 (6): 9365–72.
- Sudibyo, Heri, Eko Joko Guntoro, Fauzi Tri Yuniko, Raimon Efendi, and Ratih Agustin Wulandari. 2025. "Pendampingan Implementasi Smart Farming Dan Pakan Alternatif Bernutrisi Tinggi Berbasis IoT Untuk Meningkatkan Produktivitas Budidaya Perikanan Dan Ketahanan Pangan Mentoring the Implementation of Smart Farming and Highly Nutritious Alternative Feed Based on IoT to Increase Fishery Cultivation Productivity and Food Security."
- Sulistyo, Eko, Indra Dwisaputra, Dewi Tumatul Ainin, and Dedi Susanto. 2025. "Manutech : Jurnal Teknologi Manufaktur Rancang Bangun Sistem Pemberi Pakan Ikan Di Kolong Bekas" 17 (02).
- Syahfitri, Ayu. 2025. "Internet of Things (IoT), Sejarah , Teknologi , Dan Penerapannya."
- Triswiyana, Ira, Ayu Permatasari, and Ardiansyah Kurniawan. 2020. "Pemanfaatan Kolong Timah Untuk Akuakultur : Studi Kasus Kecamatan Muntok , Kabupaten Bangka Barat Utilization of Ex Tin Mine Lake For Aquaculture : Case Study Of Muntok Sub District , West Bangka Regency" 10 (2): 99–104.