

BAB I

USULAN GAGASAN

1.1 Deskripsi Umum Masalah dan Kebutuhan

Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki potensi yang sangat besar di sektor perikanan, khususnya dalam budidaya udang. Udang merupakan salah satu komoditas perikanan utama, dengan volume dan nilai ekspor yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan komoditas lainnya. Data Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2022 menunjukkan bahwa nilai ekspor udang melebihi USD 1,5 miliar, yang berkontribusi signifikan terhadap sumber devisa negara. Namun, meskipun potensi ini sangat besar, perluasan produksi udang dihadapkan pada berbagai tantangan yang kompleks[1].

Pertama, efisiensi operasional dalam budidaya udang menjadi masalah yang tidak dapat diselesaikan dengan solusi standar. Tingkat intensitas yang tinggi dalam praktik budidaya, terutama menjelang panen, menyebabkan permintaan energi listrik yang sangat besar. Data dari Kementerian Kelautan dan Perikanan menunjukkan bahwa penggunaan listrik dalam budidaya udang dapat mencapai 30% dari total biaya operasional, yang berdampak langsung pada profitabilitas pembudidaya. Permasalahan ini memerlukan pendekatan yang lebih inovatif dan terintegrasi untuk meningkatkan efisiensi tanpa mengorbankan kualitas produk[1].

Kedua, pengelolaan kualitas air dalam budidaya udang merupakan tantangan yang melibatkan beberapa aspek. Penilaian parameter kualitas air, seperti pH, oksigen terlarut (DO), dan salinitas, biasanya dilakukan secara manual dan berkala. Pendekatan ini tidak hanya memakan waktu, tetapi juga rentan terhadap kesalahan pengukuran yang tinggi. Sebuah studi yang dilakukan oleh Universitas Riau pada tahun 2021 menunjukkan bahwa kesalahan dalam pengukuran pH dapat menyebabkan penurunan produksi udang sebesar 20%. Permasalahan ini mencakup berbagai bagian dari proses

budidaya, mulai dari pengukuran hingga pengambilan keputusan, dan memerlukan solusi yang lebih komprehensif

Ketiga, tantangan dalam budidaya udang juga mencakup aspek yang jarang ditemui, seperti dampak perubahan iklim dan fluktuasi kualitas air yang tidak terduga. Perubahan kondisi lingkungan dapat mempengaruhi kesehatan udang dan produktivitas tambak secara keseluruhan. Hal ini menambah kompleksitas dalam pengelolaan tambak udang, di mana pembudidaya harus mampu beradaptasi dengan cepat terhadap perubahan yang terjadi.

Dengan mempertimbangkan berbagai tantangan ini, penting untuk mengeksplorasi dan memahami lebih dalam mengenai masalah yang dihadapi dalam budidaya udang di Indonesia. Pendekatan yang lebih holistik dan inovatif diperlukan untuk mengatasi permasalahan yang kompleks ini, sehingga dapat meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan sektor perikanan di tanah air.

1.1.1 Complex Engineering Problem

Proyek Tugas Akhir ini berfokus pada penyelesaian permasalahan rekayasa yang kompleks (complex engineering problem) dalam budidaya udang air asin, khususnya terkait dengan tantangan dalam menjaga kualitas air yang optimal, memprediksi potensi penyakit, dan mengelola pakan secara efisien. Fluktuasi parameter air seperti suhu, salinitas, dan pH dapat secara signifikan memengaruhi pertumbuhan dan kelangsungan hidup udang. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan solusi berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu melakukan pemantauan dan kontrol parameter lingkungan tambak secara *real-time* untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi budidaya udang:

i. Permasalahan memerlukan pengetahuan teknis yang mendalam.

Budidaya udang modern bukan lagi sekadar aktivitas pertanian tradisional, melainkan sebuah sistem produksi kompleks yang memerlukan integrasi lintas bidang ilmu teknik dan sains untuk mencapai efisiensi dan keberlanjutan. Dalam praktiknya, teknik elektro dan mekatronika berperan penting dalam merancang dan mengendalikan perangkat otomatis seperti *aerator* (kincir air atau *blower*), pompa air, dan mesin pemberi pakan otomatis. Kontrol terhadap alat-alat ini dilakukan melalui sistem berbasis relay dan sensor untuk parameter kualitas air seperti pH, DO (oksigen terlarut), suhu, dan salinitas. Selanjutnya, teknik informatika, khususnya bidang *Internet of Things* (IoT) dan *embedded system*, dibutuhkan untuk membangun sistem pemantauan berbasis ESP32 dan *cloud*. Sebagai contoh, pemanfaatan Firebase dan Flutter dapat digunakan untuk membuat dashboard monitoring kualitas air secara *real-time* yang dapat diakses melalui *smartphone*. Dari sisi sains lingkungan dan akuakultur, pemahaman mendalam diperlukan terkait batas aman parameter air bagi pertumbuhan udang, serta dampak interaksi antarparameter terhadap kesehatan udang dan pencemaran lingkungan. Di samping itu, teknik energi dan listrik juga memiliki peran strategis karena budidaya intensif mengonsumsi energi sangat tinggi, bahkan dapat mencapai lebih dari 30% dari total biaya operasional. Oleh karena itu, perancangan sistem kelistrikan hemat energi, seperti penggunaan sistem *hybrid* antara PLN dan panel surya, menjadi bagian penting dalam solusi teknik yang diperlukan.

ii. Permasalahan tingkat tinggi yang meliputi beberapa bagian.

Permasalahan yang dihadapi dalam budidaya udang tidak bersifat terpisah, melainkan merupakan jaringan dari beberapa bagian yang saling berinteraksi dan memengaruhi. Pengendalian kualitas air menjadi salah satu bagian utama yang harus dijaga secara ketat karena parameter seperti pH, DO, suhu, dan salinitas sangat memengaruhi pertumbuhan udang. Sebuah kesalahan kecil dalam pengukuran pH saja dapat menurunkan produktivitas udang hingga

20%. Oleh karena itu, sistem pemantauan dan pengendalian kualitas air harus berjalan secara otomatis dan terintegrasi. Selain itu, proses produksi seperti pemberian pakan dan sirkulasi air juga perlu diotomatisasi untuk mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual serta meminimalkan human error. Tantangan lainnya adalah manajemen energi yang efisien, mengingat beban listrik yang tinggi akibat penggunaan *aerator* dan pompa. Penggunaan sistem manajemen energi cerdas yang bekerja secara otomatis berdasarkan kebutuhan menjadi solusi penting. Sistem-sistem ini perlu diintegrasikan melalui IoT dan *cloud computing* agar data dari sensor dapat dikirim secara *real-time* ke aplikasi pemantauan jarak jauh. Di sisi lain, perubahan iklim dan fluktuasi lingkungan yang tidak dapat diprediksi mengharuskan tambak mampu beradaptasi dengan cepat melalui otomatisasi sistem kontrol suhu dan aerasi. Keseluruhan sistem ini menunjukkan bahwa permasalahan dalam budidaya udang melibatkan banyak subsistem teknis yang tidak dapat dipisahkan satu sama lain.

iii. Permasalahan bukan masalah yang dapat diselesaikan dengan solusi atau praktek-praktek standar.

Metode-metode konvensional yang selama ini digunakan dalam budidaya udang telah terbukti tidak lagi memadai untuk menjawab tantangan produksi skala besar dan intensif. Misalnya, pengukuran kualitas air secara manual menggunakan kertas lakmus atau alat analog tidak hanya lambat tetapi juga rawan kesalahan dan tidak dapat memberikan data secara kontinu. Akibatnya, pengambilan keputusan sering terlambat, menyebabkan stres pada udang dan bahkan kematian massal. Selain itu, praktik pengoperasian *aerator* atau pompa air selama 24 jam penuh tanpa mempertimbangkan kebutuhan aktual sangat boros energi dan memperbesar biaya produksi. Dalam konteks ini, solusi inovatif berbasis teknologi tinggi menjadi mutlak dibutuhkan. Penggunaan sensor otomatis dan sistem IoT memungkinkan pemantauan terus-menerus dan otomatisasi respon berdasarkan kondisi tambak. Bahkan, sistem pengendalian berbasis logika *fuzzy* atau kecerdasan buatan (AI) dapat

digunakan untuk mengambil keputusan dalam mengatur intensitas aerasi dan pemberian pakan. Tidak hanya itu, integrasi dengan sumber energi alternatif seperti tenaga surya juga menjadi solusi untuk mengurangi ketergantungan terhadap listrik konvensional. Sistem ini semakin optimal jika dilengkapi dengan dashboard aplikasi dan sistem peringatan dini (*alert system*) yang memberikan notifikasi langsung kepada petambak jika terjadi anomali dalam parameter kualitas air. Permasalahan melibatkan pemangku kepentingan yang beragam dengan berbagai kebutuhan.

Permasalahan dalam budidaya udang melibatkan berbagai pemangku kepentingan yang memiliki kebutuhan dan prioritas yang berbeda-beda. Petambak sebagai pelaku utama tentu menginginkan sistem yang mudah digunakan, murah, efisien, dan mampu meningkatkan hasil panen mereka. Di sisi lain, pemerintah dan regulator membutuhkan data yang akurat dan *real-time* untuk memastikan praktik budidaya yang dilakukan sesuai dengan ketentuan lingkungan hidup, sekaligus sebagai dasar untuk pengambilan kebijakan keberlanjutan. Investor dan pelaku industri menilai sistem dari sisi efisiensi produksi, kelayakan investasi, dan skalabilitas untuk ekspansi tambak dalam skala lebih besar. Selain itu, masyarakat sekitar dan komunitas lokal memiliki perhatian terhadap dampak lingkungan, seperti limbah dari tambak, penggunaan air tanah atau air laut secara masif, serta risiko pencemaran yang dapat mengganggu keseimbangan ekosistem sekitar. Oleh karena itu, solusi teknis yang ditawarkan tidak hanya harus efektif secara fungsional, tetapi juga inklusif dan adaptif terhadap kepentingan seluruh pihak yang terlibat, agar sistem dapat diimplementasikan secara berkelanjutan dan diterima secara sosial..

1.2 Analisis Masalah

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa tantangan teknis yang perlu dianalisis dalam menyelesaikan masalah yang terkait, yaitu :

- **Aspek Teknis**

Secara teknis, sensor yang digunakan untuk mengukur oksigen terlarut (DO), pH, dan salinitas dalam budidaya udang harus menunjukkan presisi tinggi dan ketahanan terhadap kondisi lingkungan yang sering kali korosif yang lazim terjadi di tambak.

- i. **Kualitas Sensor dan Kalibrasi**

Sensor yang digunakan untuk mengukur oksigen terlarut (DO), pH, dan salinitas dalam budidaya udang harus menunjukkan presisi tinggi dan ketahanan terhadap kondisi lingkungan yang sering kali korosif yang lazim terjadi di tambak. Kualitas air yang optimal sangat penting untuk kesehatan dan pertumbuhan udang, sehingga menggaris bawahi pentingnya penggunaan sensor yang sesuai[2]. Misalnya, sensor DO harus mampu memberikan pembacaan yang tepat di berbagai tingkat konsentrasi, karena konsentrasi oksigen terlarut yang rendah dapat menyebabkan stres pada udang, yang menyebabkan berkurangnya tingkat pertumbuhan. Selain itu, sensor pH harus dibuat agar berfungsi dalam rentang pH yang luas, mengingat seringnya terjadi fluktuasi pH yang dihasilkan dari proses biologis dan kimiawi yang terjadi di dalam tambak. Sensor salinitas juga harus mampu menahan perubahan salinitas yang cepat, terutama dalam sistem budidaya yang menggunakan air laut atau campuran air tawar dan air laut. Oleh karena itu, pemilihan sensor yang sesuai dan berkualitas tinggi sangat penting untuk memastikan keandalan data yang diperoleh dan kegunaannya dalam pengambilan keputusan yang tepat dalam manajemen tambak.

Penting juga untuk melakukan kalibrasi sensor secara teratur untuk menjamin validitas dan keakuratan data yang diperoleh. Proses kalibrasi berfungsi untuk mengurangi terjadinya kesalahan pengukuran yang mungkin timbul dari waktu ke waktu karena faktor-faktor seperti akumulasi kotoran, fluktuasi suhu, atau kerusakan fisik pada sensor. Pelaksanaan kalibrasi secara teratur memungkinkan peternak menjamin konsistensi dan keandalan

pembacaan sensor. Selain itu, proses kalibrasi memfasilitasi deteksi dini masalah potensial, seperti kerusakan sensor atau perubahan kualitas air yang tiba-tiba. Tanpa kalibrasi, masalah ini mungkin tetap tidak terdeteksi, sehingga menghambat keakuratan dan keandalan data yang digunakan dalam proses pengambilan keputusan di tambak udang. Oleh karena itu, manajemen sensor yang efektif, yang mencakup pemeliharaan dan kalibrasi rutin, sangat penting untuk menjaga kualitas data yang digunakan dalam proses pengambilan keputusan yang penting ini.

ii. Pengolahan Data dan Respons Sistem

Kecepatan dan ketepatan dalam pengelolaan data sangat penting, terutama dalam konteks respon terhadap perubahan kondisi air. Dalam situasi di mana sumber daya air terancam oleh berbagai faktor seperti perubahan iklim dan pertumbuhan populasi, sistem pengelolaan air yang efisien harus mampu mengolah data secara cepat dan akurat. Jika sistem tidak dapat memproses data dengan cepat, maka informasi penting mengenai perubahan kondisi air, seperti kualitas dan kuantitas, bisa terlewatkan, yang pada gilirannya dapat mengakibatkan keputusan yang tidak tepat dalam pengelolaan sumber daya air[3].

Pengelolaan air cerdas, yang mengintegrasikan teknologi modern seperti sensor dan sistem informasi geografis, memungkinkan pemantauan kondisi air secara *real-time*. Dengan adanya teknologi ini, otoritas dapat segera merespons perubahan yang terjadi, seperti kebocoran atau pencemaran, sebelum masalah tersebut berkembang menjadi krisis yang lebih serius[3]. Kecepatan dalam pengumpulan dan analisis data memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih baik dan lebih cepat, yang sangat penting dalam situasi darurat.

Selain itu, penggunaan kecerdasan buatan dan *big data* dalam pengelolaan air dapat meningkatkan ketepatan analisis dan prediksi pola konsumsi air. Dengan sistem yang mampu memberikan data terkini dan analisis

yang akurat, pengelola dapat merencanakan dan mengimplementasikan strategi yang lebih efektif untuk mengelola sumber daya air. Hal ini tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan air tetapi juga membantu dalam mempertahankan kualitas air, yang sangat penting untuk kesehatan masyarakat dan keberlanjutan lingkungan.

Oleh karena itu, investasi dalam teknologi pengelolaan air yang cerdas dan responsif sangat diperlukan. Dengan dukungan kebijakan yang tepat dan kerjasama antara pemerintah, akademisi, dan sektor swasta, Indonesia dapat mengatasi tantangan dalam pengelolaan air dan memastikan bahwa respons terhadap perubahan kondisi air dilakukan dengan cepat dan tepat.

1.2.2 Aspek Ekonomi

Aspek ekonomi membahas sejauh mana solusi yang dikembangkan dapat diterapkan secara efisien dan terjangkau oleh peternak. Hal ini mencakup biaya pengadaan, operasional, pemeliharaan, serta dampaknya terhadap peningkatan produktivitas dan keuntungan

i. Biaya Implementasi

Pengeluaran keuangan awal yang diperlukan untuk memasang sistem pemantauan dapat menjadi beban yang signifikan bagi petani kecil dengan sumber daya yang terbatas. Investasi awal ini mencakup biaya perangkat keras, perangkat lunak, dan pelatihan yang diperlukan untuk mengoperasikan sistem. Bagi petani kecil, yang sering beroperasi dengan margin keuntungan yang sempit, biaya-biaya ini dapat membebani keuangan mereka dan menghalangi kemampuan mereka untuk berinvestasi pada teknologi yang lebih efisien.

Akibatnya, banyak petani yang enggan menerapkan sistem pemantauan, meskipun ada keuntungan jangka panjang, seperti peningkatan efisiensi dan produktivitas, yang bisa sangat menguntungkan. Ketidakpastian keuangan yang melingkupi sektor pertanian sering kali mendorong petani untuk

mempertahankan metode tradisional yang kurang efektif, meskipun ada teknologi modern yang dapat memberikan solusi unggul untuk pengelolaan sumber daya. Selain itu, kurangnya akses terhadap pembiayaan yang memadai atau dukungan dari pemerintah dapat memperburuk masalah ini, sehingga menciptakan kesenjangan antara petani besar yang mampu berinvestasi dalam teknologi dan petani kecil yang dipaksa untuk tetap menggunakan praktik-praktik yang sudah ketinggalan zaman.

Untuk meningkatkan penggunaan teknologi di kalangan petani kecil, sangat penting untuk merancang model pembiayaan yang fleksibel dan mendukung, seperti program subsidi atau pinjaman berbunga rendah. Hal ini akan memudahkan akses petani kecil terhadap teknologi yang dibutuhkan, yang pada gilirannya akan meningkatkan hasil panen dan keberlanjutan bisnis mereka, sehingga berkontribusi pada pertumbuhan sektor pertanian secara keseluruhan.

ii. Penghematan Biaya Operasional

Meskipun tujuan dari sistem pemantauan ini adalah untuk mengurangi biaya operasional jangka panjang, namun penting untuk melakukan analisis yang komprehensif untuk memastikan apakah penghematan yang dihasilkan cukup besar jika dibandingkan dengan biaya awal yang dikeluarkan. Istilah “biaya awal” tidak hanya mencakup pengadaan perangkat keras dan perangkat lunak, tetapi juga biaya yang terkait dengan pelatihan dan pemeliharaan. Oleh karena itu, sangat penting bagi petani untuk memiliki pemahaman yang jelas tentang potensi penghematan yang dapat dicapai melalui efisiensi yang ditawarkan oleh sistem ini.

Analisis biaya-manfaat yang komprehensif harus mencakup perhitungan tidak hanya aspek keuangan tetapi juga dampaknya terhadap produktivitas dan kualitas hasil pertanian. Sebagai contoh, meskipun investasi awal mungkin tinggi, penghematan yang diperoleh dari pengurangan penggunaan air, pupuk, atau pestisida dapat menjadi signifikan dalam jangka

panjang. Selain itu, peningkatan kualitas hasil panen berpotensi meningkatkan harga jual, yang dapat membantu menutupi biaya awal.

Namun, tanpa adanya analisis yang tepat dan transparan, petani mungkin enggan untuk berinvestasi dalam sistem ini. Oleh karena itu, sangat penting bagi para pemangku kepentingan, termasuk pemerintah dan penyedia teknologi, untuk menyediakan data yang jelas dan studi kasus yang menggambarkan keampuhan sistem pemantauan dalam praktiknya. Dengan informasi yang dibutuhkan, petani dapat membuat keputusan yang lebih tepat dan percaya diri untuk berinvestasi pada teknologi yang dapat mendorong keberlanjutan dan keuntungan dalam jangka panjang.

iii. Kenaikan Nilai Tambah

Meskipun kualitas udang yang lebih baik berpotensi meningkatkan harga jual, hal ini mungkin tidak cukup untuk mengimbangi investasi awal dalam sistem pemantauan. Sistem pemantauan yang canggih dapat membantu pembudidaya dalam mengelola berbagai faktor, termasuk kualitas air, pakan, dan kesehatan udang, yang semuanya berkontribusi pada peningkatan hasil panen. Ketika udang berkualitas lebih tinggi diproduksi, pembudidaya biasanya dapat menjualnya dengan harga premium di pasar, yang menguntungkan. Namun, harga jual yang lebih tinggi tidak selalu dapat menutupi biaya investasi yang diperlukan untuk memasang dan mengoperasikan sistem pemantauan.

Selain itu, faktor eksternal seperti fluktuasi harga pasar, persaingan dengan petambak lain, dan kebijakan perdagangan internasional juga dapat mempengaruhi daya saing produk udang. Dalam beberapa kasus, meskipun udang yang dihasilkan berkualitas tinggi, penurunan harga pasar atau kelebihan pasokan dapat menyebabkan pembudidaya gagal mendapatkan keuntungan yang diharapkan. Oleh karena itu, sangat penting bagi pembudidaya untuk melakukan analisis pasar yang komprehensif sebelum berinvestasi dalam sistem pemantauan untuk memastikan apakah potensi kenaikan harga jual akan memberikan keuntungan yang cukup untuk menutupi biaya investasi.

Oleh karena itu, meskipun sistem pemantauan memberikan banyak keuntungan, petani harus melakukan penilaian komprehensif terhadap semua faktor terkait, termasuk biaya awal, potensi penghematan operasional, dan kondisi pasar, untuk membuat keputusan investasi yang bijaksana dan berkelanjutan.

1.2.3 Aspek Lingkungan

i. Dampak Terhadap Ekosistem

Penggunaan kincir angin untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut (DO) di tambak berpotensi memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap ekosistem setempat. Penggunaan kincir angin untuk meningkatkan aerasi air sangat penting untuk kesehatan udang dan ikan yang dibudidayakan. Namun, peningkatan kadar oksigen ini juga dapat mempengaruhi keseimbangan ekosistem di sekitar tambak. Sebagai contoh, perubahan kadar oksigen dapat mempengaruhi spesies flora dan fauna yang ada, termasuk mikroorganisme yang berperan dalam proses penguraian dan siklus nutrisi di dalam kolam. Jika kadar oksigen meningkat secara drastis, hal ini dapat mengubah komposisi spesies yang ada, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi rantai makanan lokal dan interaksi antar spesies.

Selain itu, penggunaan kincir angin juga dapat mempengaruhi kualitas air dan sedimen di dasar kolam. Dengan meningkatnya aliran air, kincir air dapat mengganggu lapisan sedimen yang mengandung unsur hara dan bahan organik yang penting bagi pertumbuhan tanaman air dan organisme lainnya. Jika sedimen tersebut naik ke kolom air, kelebihan unsur hara akan meningkat dan terjadi eutrofikasi. Eutrofikasi adalah proses di mana kelebihan nutrisi menyebabkan lebih banyak pertumbuhan alga, yang menurunkan tingkat oksigen dalam air dan membahayakan kehidupan akuatik. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memahami dampak jangka panjang penggunaan kincir angin terhadap flora dan fauna di sekitar kolam dan

mengembangkan strategi pengelolaan untuk mengurangi dampak negatif tersebut.

Penelitian yang lebih mendalam diperlukan untuk menilai bagaimana perubahan kadar oksigen dan kualitas air akibat penggunaan kincir angin mempengaruhi spesies yang berbeda, baik positif maupun negatif. Dengan memahami dampak ini, petani dapat membuat keputusan yang lebih baik mengenai penggunaan teknologi ini dan mengembangkan praktik pertanian yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Hal ini sangat penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem lokal dan menjamin pembangunan berkelanjutan industri pertanian di masa depan.

ii. Pengelolaan Limbah

Limbah tambak, khususnya tambak udang, dapat mencemari lingkungan jika tidak dibuang dengan baik. Limbah tersebut merupakan air limbah budidaya yang mengandung limbah udang, sisa pakan, dan mikroorganisme yang dapat mencemari perairan di sekitarnya. Jika limbah ini dibuang langsung ke lingkungan tanpa pengolahan yang baik, maka dapat menyebabkan buruknya kualitas air, eutrofikasi, bahkan penyebaran penyakit pada populasi udang liar. Eutrofikasi terjadi ketika kelebihan nutrisi seperti nitrogen dan fosfor memasuki ekosistem perairan, menyebabkan pertumbuhan alga yang berlebihan dan berkurangnya kadar oksigen di dalam air, sehingga berbahaya bagi kehidupan akuatik.

Oleh karena itu, sistem pemantauan dalam pembangunan kolam harus mempertimbangkan pengelolaan limbah yang komprehensif. Sistem ini tidak hanya memantau kualitas air kolam, tetapi juga mencakup pengelolaan limbah yang dihasilkan. Solusi efektifnya adalah dengan menggunakan instalasi pengolahan air limbah yang dapat mengolah limbah melalui proses fisik, biologis, dan kimia. Hal ini memungkinkan limbah diolah sebelum dibuang ke lingkungan, sehingga meminimalkan dampak negatif terhadap ekosistem sekitarnya.

Selain itu, penting untuk mengembangkan kolam penampungan dan pengendapan yang memadai untuk menampung air limbah sebelum dialirkan kembali ke lingkungan. Kolam ini berfungsi untuk menyaring zat-zat berbahaya dari limbah, sehingga kualitas air yang dibuang ke lingkungan dapat terjaga. Dengan menerapkan sistem monitoring yang komprehensif dan pengelolaan limbah yang baik, petambak tidak hanya dapat menjaga keberlanjutan usaha mereka, tetapi juga melindungi lingkungan dari pencemaran yang dapat merugikan ekosistem lokal.

1.2.4 Aspek Hukum

i. Regulasi Kualitas Air

Dalam budidaya udang, terdapat peraturan yang mengatur kualitas air untuk menjamin kesehatan dan pertumbuhan udang yang optimal. Salah satu parameter penting yang diatur adalah pH, di mana nilai ambang batas bawah ditetapkan pada 7.5 dan ambang batas atas pada 8.5, sesuai dengan persyaratan Standar Nasional Indonesia[3]. Kepatuhan terhadap standar ini sangat penting karena pH yang tidak tepat dapat mempengaruhi metabolisme udang dan risiko penyakit.

Untuk memantau pH secara akurat, pemilihan sensor sangatlah penting. Sensor pH yang digunakan harus dapat berfungsi dengan baik pada kondisi air kolam dengan salinitas tinggi, umumnya bervariasi antara 15 hingga 20%. Dalam hal ini, sensor pH yang direkomendasikan adalah model Lutron PE-21, yang dirancang untuk memberikan pengukuran akurat pada lingkungan dengan salinitas tersebut[3].

Selain pH, parameter lain yang tidak kalah pentingnya adalah oksigen terlarut. Sensor yang digunakan untuk mengukur DO juga harus tahan terhadap salinitas tinggi, dan yang direkomendasikan adalah model Lutron DO 5510. Sensor ini dirancang khusus untuk memberikan hasil bahkan pada

kondisi air dengan kadar yang tinggi, yang membuatnya sangat cocok untuk digunakan dalam budidaya udang[3].

Dengan mematuhi peraturan yang ada dan menggunakan peralatan yang tepat, para pembudidaya ikan dapat menjaga kualitas air tambak mereka, sehingga akan menghasilkan keberhasilan budidaya udang.

ii. Hak Akses dan Kepemilikan Data

Penggunaan data yang dihasilkan oleh sistem pemantauan dalam budidaya udang dapat menimbulkan permasalahan terkait kepemilikan dan hak akses. Data yang dikumpulkan oleh sistem pemantauan, seperti kualitas air, kadar oksigen terlarut, dan parameter lingkungan lainnya, sangat berharga bagi petani. Namun, tanpa kepastian hukum mengenai siapa pemilik data dan cara penggunaannya, konflik dapat muncul antara berbagai pemangku kepentingan seperti petani, penyedia teknologi, dan pemerintah. Misalnya, jika data yang dihasilkan digunakan untuk tujuan komersial tanpa persetujuan pemilik data, maka dapat menimbulkan perselisihan hukum yang merugikan semua pihak yang terlibat.

Keberadaan kepastian hukum terkait penggunaan data sangat penting untuk mencegah potensi konflik di dalam industri ini. Diperlukan regulasi yang jelas mengenai hak kepemilikan data dan akses terhadapnya, sehingga kepentingan semua pihak dapat dilindungi. Regulasi ini harus mencakup penetapan siapa yang berhak mengakses data, cara penggunaannya, serta batasan-batasan yang perlu diterapkan. Dengan adanya kerangka hukum yang terdefinisi dengan baik, para petambak akan merasa lebih aman dalam menggunakan teknologi pemantauan, karena mereka mengetahui bahwa hak mereka atas data yang dihasilkan dijamin dan dilindungi.

Selain itu, melibatkan semua pemangku kepentingan dalam proses penyusunan regulasi ini juga sangatlah penting. Dengan merekrut partisipasi dari petambak, penyedia teknologi, dan pihak pemerintah, kita dapat

mencapai kesepakatan yang adil dan transparan mengenai penggunaan data. Pendekatan ini tidak hanya akan mencegah timbulnya konflik, tetapi juga mendorong kolaborasi yang lebih baik antara seluruh pihak, dalam upaya meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan budidaya udang.

1.3 Analisis Solusi Yang Sudah Ada

Bagian ini membahas berbagai solusi yang telah diterapkan sebelumnya dalam pemantauan kualitas air tambak. Analisis ini bertujuan untuk memahami kelebihan, kekurangan, serta sejauh mana solusi-solusi tersebut mampu menjawab kebutuhan peternak secara efektif.

i. Metode Monitoring Konvensional (Manual)

Pada metode ini, peternak masih sangat bergantung pada alat ukur sederhana dan observasi langsung di lapangan. Beberapa praktik yang umum dilakukan adalah:

- Pengecekan kualitas air secara manual, menggunakan alat seperti termometer, refraktometer, dan pH meter *portable*. Pengukuran suhu, pH, salinitas, dan oksigen dilakukan beberapa kali dalam sehari secara manual.
- Pencatatan kegiatan tambak secara manual, seperti jumlah pakan yang diberikan, tingkat kematian udang, atau kondisi air dicatat di buku harian tambak. Hal ini cukup membantu, namun rawan kesalahan pencatatan dan sulit untuk dianalisis dalam jangka panjang.
- Observasi visual, yaitu pengamatan langsung terhadap kondisi air (warna, bau), aktivitas makan udang, dan fungsi aerator (gelembung). Metode ini sangat mengandalkan pengalaman peternak.

Walaupun sederhana, metode ini masih banyak digunakan, terutama di kalangan petambak tradisional. Namun, metode ini kurang efisien, memerlukan tenaga lebih, dan rentan terhadap *human error*.

ii. Metode Monitoring Semi Modern

Banyak peternak udang saat ini menggunakan metode semi-modern, yaitu gabungan antara cara manual (konvensional) dan alat digital sederhana. Metode ini lebih praktis dibanding cara lama, tapi belum otomatis sepenuhnya seperti sistem IoT.

Contohnya, peternak menggunakan alat digital seperti pH meter atau DO meter untuk mengukur kualitas air. Meski alatnya modern, hasilnya tetap dicatat manual. Ada juga mesin pemberi pakan otomatis yang bisa diatur waktunya, namun belum bisa menyesuaikan jumlah pakan secara otomatis sesuai kebutuhan udang.

Beberapa tambak menggunakan aerator otomatis dengan timer, yang menyala dan mati sesuai jadwal, tapi tidak membaca kadar oksigen air. Untuk pencatatan harian, sebagian peternak mulai memakai *Excel* di laptop atau gawai. Ada juga yang memasang *Close Circuit Television*(CCTV) untuk melihat kondisi tambak dari jauh, tapi belum terhubung ke sistem digital.

Metode ini cocok untuk peternak yang ingin lebih efisien tanpa biaya tinggi, sebagai langkah awal sebelum beralih ke sistem tambak pintar berbasis IoT.

Untuk memudahkan dalam membedakan antara penelitian dengan penelitian sebelumnya, dapat dilihat pada Tabel 1.1 dibawah ini.

Tabel 1. 1 Keunggulan dan kekurangan solusi yang sudah ada

No.	Solusi	Kelebihan dan Kekurangan
1	Metode Monitoring Konvensional (Manual)	Kelebihan: - Pemantauan area dengan manual oleh manusia langsung, dapat mengurangi resiko-resiko yang diluar prediksi seperti alam dan lain lain. - Pemantauan konvensional akan sangat menambah pengalaman di lapangan dari segi resiko dan juga membaca lapangan. Kekurangan - Sangat bergantung terhadap manusia itu sendiri, karena jika tidak telaten akan bergantung terhadap hasil yang didapatkan. - Dari segi pendataan tidak akan akurat karena sistem pencatatan masih manual dan sangat mudah terjadi human eror.
2	Metode Monitoring Semi Modern/Semi-Auto	Kelebihan - Pemantauan area dengan metode semi modern mempersingkat waktu dalam pendataan. - Memudahkan pencatatan karena Sebagian sudah menggunakan sensor-sensor yang digital dan modern

No.	Solusi	Kelebihan dan Kekurangan
		Kekurangan - Sangat mudah terjadi human eror karena faktor manusia itu sendiri. - Masih bergantung terhadap pencatatan yang manual, dan jika melakukan kesalahan akan berdampak terhadap hasil akhir.

dapat disimpulkan pada tabel di atas bahwa kedua metode pemantauan memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Metode konvensional (manual) mengandalkan sepenuhnya pada manusia. Kelebihannya adalah dapat mengatasi situasi tak terduga dan memberikan pengalaman lapangan yang berharga, namun kelemahannya sangat signifikan, yaitu ketergantungan tinggi pada ketelitian manusia yang berujung pada potensi human error dan data yang tidak akurat. Sementara itu, metode semi modern (semi-otomatis) mencoba menggabungkan teknologi untuk meningkatkan efisiensi. Metode ini lebih cepat dalam pengumpulan data karena menggunakan sensor, tetapi tetap memiliki kelemahan yang sama dengan metode konvensional, yaitu masih rentan terhadap **human error** karena masih adanya intervensi manusia dalam pencatatan. Dengan kata lain, meskipun metode semi modern menawarkan peningkatan efisiensi, keduanya masih memiliki risiko kesalahan data yang tinggi karena faktor manusia masih menjadi komponen utama dalam prosesnya.

1.4 Kesimpulan Bab I

Budidaya udang memiliki potensi besar sebagai komoditas ekspor, tetapi tantangan teknis, ekonomi, lingkungan, dan regulasi masih menjadi hambatan utama dalam meningkatkan efisiensi dan keberlanjutannya. Teknologi IoT menawarkan solusi dengan sistem pemantauan *real-time* yang dapat meningkatkan efisiensi operasional dan kualitas produksi, tetapi biaya investasi awal yang tinggi menjadi kendala utama bagi petambak kecil. Oleh karena itu, diperlukan dukungan pemerintah melalui kebijakan subsidi atau program pembiayaan berbunga rendah agar teknologi ini lebih mudah diakses. Dari perspektif lingkungan, penerapan teknologi harus memperhatikan keseimbangan ekosistem dan pengelolaan limbah agar tidak memicu pencemaran perairan. Regulasi juga harus diperkuat untuk mengatur kepemilikan dan pemanfaatan data guna menghindari konflik kepentingan. Dengan pendekatan yang terintegrasi antara teknologi, regulasi, dan kebijakan pendukung, budidaya udang di Indonesia dapat berkembang lebih efisien, berkelanjutan, dan berdaya saing global.