

Sistem Monitoring Kadar pH Kolam Udang Secara Real-Time Dengan Algoritma Regresi Linier

Fajar Nur Aini Dwi Fatimah¹, Wahid Miftahul Ashari²

fajar.fa@students.amikom.ac.id, wahidashari@amikom.ac.id

Universitas Amikom Yogyakarta

Informasi Artikel

Diterima : 26 Mei 2023

Direview : 21 Jun 2023

Disetujui : 30 Jun 2023

Kata Kunci

Arduino, pH Meter,
Algoritma Regresi Linier

Abstrak

Budidaya udang merupakan salah satu komoditas utama yang sedang digencarkan oleh pemerintah. Kurangnya implementasi teknologi membuat budidaya menghasilkan hasil yang kurang maksimal. Salah satu kendala pada teknologi adalah mahalnya alat ukur dan tidak akurasi alat ukur sehingga membuat para pengelola tambak budidaya udang tidak menerapkan teknologi pada proses budidaya. Permasalahan tersebut yang menjadi pokok pembahasan pada penelitian ini. Penelitian ini nantinya akan mengembangkan sebuah algoritma yang dapat menghasilkan estimasi pH akurat dari kondisi air pada tambak udang. Sehingga dengan menggunakan alat ukur yang sederhana para pengelola tambak udang dapat menghasilkan kondisi pH yang akurat. Proses pengumpulan data dilakukan dengan cara mengembangkan alat ukur atau pH meter yang akan diterapkan kolam udang, proses pengukuran akan dilakukan dengan menggunakan sensor pH yang akan diproses dengan menggunakan microcontroller yaitu arduino. Pengembangan algoritma estimasi akan menggunakan algoritma regresi linier yang dapat menghasilkan estimasi pH akurat. Hasil dalam penelitian ini dengan adanya monitoring secara real time dan penggunaan algoritma regresi linier dapat membantu para pengelola tambak udang untuk dapat menghasilkan hasil yang lebih maksimal karena dapat mengantisipasi kondisi-kondisi yang tidak diinginkan sejak dini. Hasil penggunaan algoritma regresi linier dan kalibrasi dalam kolam tambak udang adalah 10,8 yang berarti kolam tersebut bersifat basa dengan rata-rata pH 10,210

Keywords

Arduino,
pH Meter,
Linear Regression
Algorithm

Abstrak

Shrimp cultivation is one of the main commodities being intensified by the government. Lack of technology implementation makes cultivation produce less than optimal results. The high cost of measuring instruments and the inaccuracy of measuring instruments make the managers of shrimp aquaculture ponds not apply technology to the cultivation process. This research will develop an algorithm that can produce accurate pH estimation of water conditions in shrimp ponds. So that by using a simple measuring tool, shrimp pond managers can produce accurate pH conditions. Data collection is done by developing a measuring instrument or pH meter that will be applied to the shrimp pond, the measurement process will be carried out using a pH sensor which will be processed using a microcontroller, namely Arduino. The results in this study with real-time monitoring and the use of a linear regression algorithm can help shrimp pond managers to be able to produce maximum results because they can anticipate unwanted conditions from an early age. The result of using the linear regression algorithm and calibration in shrimp ponds is 10.8, which means that the pond is alkaline with an average pH of 10.210.

A. Pendahuluan

Potensi budidaya udang di Indonesia sangatlah besar tercatat nilai produksi mencapai 517.397 ton pada 2019 dan menargetkan nilai produksi pada angka 1.290.000 ton [1]. Pemerintah melakukan percepatan produksi dengan bersinergi dengan kementerian lain termasuk pemberdayaan teknologi sektor pertanian dan perikanan. Implementasi teknologi pada sektor perikanan dan pertanian memang masih lemah jika dibanding dengan teknologi yang diadopsi oleh perikanan dan pertanian di luar negeri [2]. Permasalahan tersebut berakibat produksi perikanan di Indonesia kalah dari jumlah produksi perikanan di luar negeri, penerapan teknologi diharapkan menjadi solusi untuk mendongkrak produksi perikanan terutama pada

Permasalahan tersebut antara lain adalah tidak tahunya para pengelola tambak udang tentang akurasi kesehatan air yang didalamnya terkandung beberapa aspek yang harus dijaga seperti pH air, kadar karbon, fosfor, dan amonia [2]. Kurang pahaminya pengelola tambak diakibatkan karena para pengelola tambak masih kurang dalam implementasi teknologi yang digunakan. Harga alat ukur yang mahal dan juga alat ukur masih belum dapat mengukur secara akurat tentang kondisi Kesehatan air pada kolam juga menyebabkan para pengelola tambak tidak mengimplementasikan teknologi pada proses bisnis tambak udang. Contoh alat ukur yang tersedia adalah alat ukur pH air, cara kerja alat ukur ini adalah dengan cara memasukan ujung alat ukur kedalam air sehingga akan muncul kondisi pH air yang ada pada kolam. Kelemahan alat ukur ini adalah pH yang diukur hanya merupakan kondisi pH permukaan air, menurut para pengelola tambak pH tengah air dan dasar kolam bisa berbeda tergantung kondisi dan situasi. Terlebih lagi alat ukur yang tersedia tidak dapat mengukur secara terus menerus kondisi pH yang ada pada kolam (*real time*), setiap pengukuran harus mengulang lagi untuk memasukan alat ukur pH dan ditunggu hasilnya. Pengelola tambak berharap bahwa mereka dapat mengetahui pH air akurat pada kolam dengan menggunakan alat ukur yang sederhana. Mengukur pH air akurat dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu 1) mengukur pH permukaan air, pH tengah air, dan pH dasar kolam, sedangkan cara yang kedua yaitu melakukan estimasi pengukuran jika hanya diketahui pH permukaan air saja. Pada penelitian ini akan digunakan cara yang kedua yaitu melakukan estimasi pH akurat air jika diketahui pH permukaan air saja. Penelitian-penelitian yang mengembangkan teknologi tentang pengukuran salinitas air dalam hal ini adalah pH air hanya berfokus pada kondisi pH permukaan air, sedangkan kondisi tengah dan bawah air dapat memiliki kadar pH yang berbeda [3][4]. Berdasarkan observasi yang dilakukan ke lapangan bahwa pengelola tambak memiliki keluhan bahwa pH permukaan air yang seimbang tidak dapat digunakan sebagai acuan bahwa kondisi pH air pada kolam udang memang seimbang, hal tersebut ditegaskan dengan munculnya masalah-masalah pada kolam udang yang disebabkan oleh kadar pH yang terlalu tinggi.

Oleh karena itu dalam penelitian ini merancang alat yang berguna dalam memonitoring keadaan tambak udang secara *real time*. Dengan penggunaan regresi linier yang bertujuan untuk memprediksi kadar pH kolam sehingga membantu nelayan dalam mengetahui keadaan kadar pH kolam selanjutnya. dan dengan adanya algoritma di sistem monitoring ini diharapkan para nelayan

tambak dapat melakukan antisipasi jika terdapat kondisi pH yang tidak sesuai dengan aturan pH pada kolam udang. Dengan antisipasi lebih awal maka penyakit dan penyebab-penyebab kematian udang dapat diantisipasi sehingga dapat meningkatkan produktivitas kolam udang atau tambak udang.

B. Tinjauan Pustaka

Penelitian sejenis ini pernah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya, seperti penelitian dengan judul "A Calibration-Free pH Sensor Using an In-Situ Modified Ir Electrode for Bespoke Application in Seawater" yang ditulis oleh Yuqi Chen dan Richard Compton pada tahun 2021 membahas tentang pengembangan sensor pH yang tidak memerlukan kalibrasi untuk digunakan dalam aplikasi khusus di laut [5]. Artikel ini berhasil mengembangkan sensor pH tanpa kalibrasi yang dapat digunakan di dalam air laut dengan menggunakan elektroda Ir yang dimodifikasi in-situ. Sensor pH ini memiliki sensitivitas dan stabilitas yang baik dan dapat dioperasikan tanpa kalibrasi.

Pada penelitian lain dengan judul "A novel wireless pH sensor for seawater based on SiO₂-coated capacitive microelectromechanical systems" yang ditulis oleh K. Huang, W. Liao, Y. Wang, & J. Wu pada tahun 2019 membahas tentang pengembangan sensor pH nirkabel yang inovatif untuk air laut berdasarkan pada sistem mikro elektromekanik kapasitif yang dilapisi dengan SiO₂ [6]. Dalam penelitian ini memiliki topik terkait, seperti pentingnya memonitor pH di dalam air laut, teknologi sensor pH, dan teknologi mikro elektromekanik (MEMS).

Lalu pada penelitian lain dengan judul "IoT based Low Cost Distributed Air Quality Monitoring System for Big Data Collection" yang ditulis oleh Chee Hoo Kok, Mohd Azrul Mohd Azlan, dan Soon Ee Ong pada tahun 2020 membahas tentang pengembangan sistem pemantauan kualitas udara yang berbasis Internet of Things (IoT) dengan biaya yang rendah dan dapat didistribusikan secara luas [10]. Penelitian ini memberikan kontribusi penting terhadap pengembangan sistem pemantauan kualitas udara yang berbasis IoT dengan biaya yang rendah dan dapat didistribusikan secara luas. Sistem ini dapat membantu memantau kualitas udara di berbagai lokasi dengan akurasi yang baik dan dapat diakses dengan mudah melalui teknologi cloud computing

Selain penelitian [5], [6], dan [10] adapun penelitian dengan judul "Wireless and Low-Power Water Quality Monitoring Beat Sensors For Agri and Acqua-Culture IoT Applications" yang ditulis oleh Duangchak Manyvone, Ryohei Takitoge, dan Koichiro Ishibashi pada tahun 2018 membahas tentang pengembangan sensor air nirkabel yang hemat daya untuk aplikasi IoT di bidang pertanian dan akuakultur [11]. Hasil dalam penelitian ini menunjukkan bahwa sensor air yang dikembangkan mampu memberikan hasil yang akurat dan dapat diandalkan dalam mengukur berbagai parameter air.

Dan yang terakhir dalam penelitian dengan judul "Water Quality Measurement and Filtering Tools Using Arduino Uno, pH Sensor and TDS Meter Sensor" yang ditulis oleh Yuda Irawan pada tahun 2021 membahas tentang pengembangan alat untuk mengukur dan memfilter kualitas air menggunakan Arduino Uno, sensor pH, dan sensor TDS [12]. Hasil dalam penelitian ini menunjukkan bahwa alat yang

dikembangkan dapat memberikan hasil yang akurat dalam mengukur kualitas air dan sistem filter air dapat memperbaiki kualitas air.

Berdasarkan hasil kesimpulan kelima penelitian diatas adanya pengecekan air pH sangat penting adanya untuk berbagai aktivitas bagi manusia mulai untuk mengecek kualitas air laut, membantu memantau kualitas udara. Sehingga dapat membantu berbagai bidang pertanian dan akuakultur. Dalam jurnal ini tema yang diangkat peneliti ialah guna membuat alat monitoring kadar pH pada tambak udang yang datanya diolah dengan regresi linier untuk membantu nelayan dalam memonitoring air tambak udang secara real time.

C. Metode Penelitian

Pada penelitian pada jurnal ini menggunakan metode eksperimen dalam mengukur kadar pH air berbasis Internet of Things. Metode penelitian eksperimen mayoritas menggunakan laboratorium, penelitian ini tidak menggunakan laboratorium melainkan mitra yang akan bertindak sebagai tempat uji atau pengganti laboratorium. Mitra penelitian ini adalah tambak udang Vaname di Pantai Ketawang, Grobogan, Purworejo, Jawa Tengah. Dengan menganalisa, melakukan perancangan sistem dan mengidentifikasi kesalahan. Analisis masalah terdiri dalam memahami beberapa faktor dalam situasi masalah yang ada dan mencari solusi. Dan juga menganalisa dari mulainya komponen yang dibuat dari software dan hardware.

Penelitian eksperimen pada umumnya menggunakan Langkah-langkah sebagai berikut :

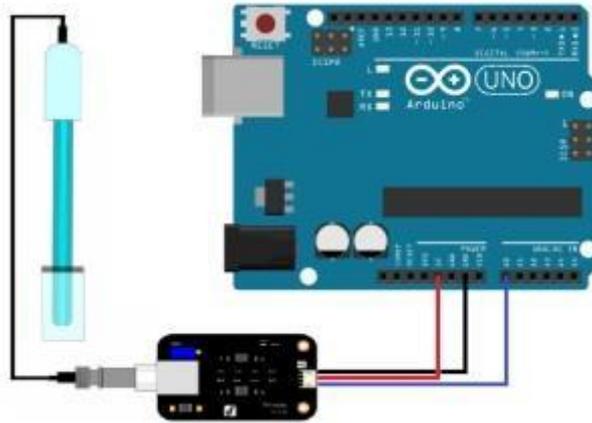


Gambar 1. Metode Penelitian

Hardware Development

Pada penelitian ini masalah yang diangkat ialah bagaimana cara memonitoring kadar pH dalam tambak udang secara real time yang dihitung dengan Regresi

Linier, dari rancangan alat yang sudah dibuat dan sudah diletakkan selama beberapa minggu data dari sensor akan dikirimkan ke mikrokontroler dan dari data ini akan ditampilkan pada dashboard yang sudah disediakan.



Gambar 2. Wiring Arduino dan Sensor pH

Pada gambar 2 dijelaskan mengenai tujuan masing masing alat dari desain eksperimen yang dibuat

1. Arduino berguna untuk mengontrol fungsi sensor pH dan modul pH yang akan dijalankan dan digunakan juga untuk menghubungkan perangkat elektronik dengan internet atau jaringan lokal untuk mengirimkan data pH
2. Sensor pH, sebagai alat untuk menentukan keasaman maupun kebasaan suatu larutan jika larutan yang mengandung banyak ion H^+ akan dalam suasana asam sedangkan suatu larutan mengandung lebih banyak ion OH^- maka akan menjadi suasana asam
3. Modul pH, Modul sensor ini merupakan modul yang dirancang untuk mendeteksi tingkat pH air dan outputnya berupa tegangan analog. Tegangan analog akan dikonversi sebagai data, dan diolah sebagai kode program

G.D. Hasil Pengujian

Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui seluruh bagian sistem dari perancangan yang telah dibuat. Pengujian dilakukan oleh masing masing komponen yang telah terhubung ke sistem mikrokontroler Arduino sebagai kontrol utama yang berfungsi untuk mengelola data input dari sensor pH lalu data tersebut dikonversi di modul pH guna sebagai data yang sudah diolah lalu dijadikannya output yang berupa tegangan analog yang sudah dikalibrasi. Pengumpulan data pH dalam tambak udang dilakukan selama beberapa minggu untuk mendapatkan hasil data dari sensor.

H.E. Hasil dan Pembahasan

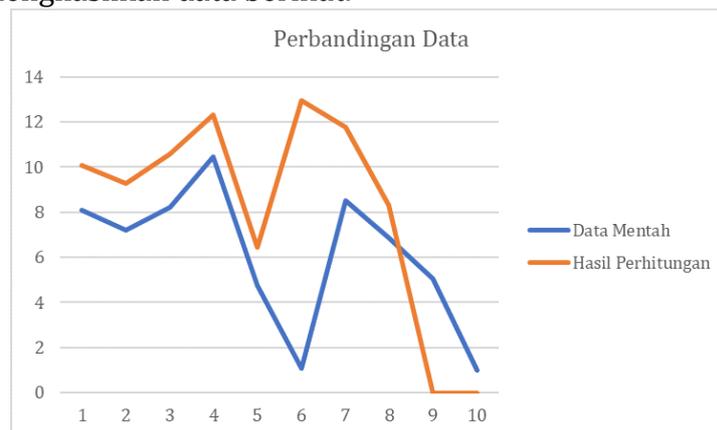
Hasil dari analisis dari data yang berhasil didapat dapat dilihat pada tabel 1. Koefisien regresi merupakan sinyal listrik sensor yang berguna sebagai kapasitas

nilai sensor pH. Hasil perhitungan pada gambar tabel 1 merupakan hasil nilai pH yang didapat dari nilai kalibrasi sensor.

Tabel 1. Hasil Data Sensor pH

No	Data Mentah	Koefisien Regresi	Hasil Perhitungan
1	8.073356	1.245861	10.05828
2	7.186933	1.291795	9.284045
3	8.203602	1.290989	10.59076
4	10.465217	1.175751	12.30449
5	4.755363	1.353846	6.43803
6	1.101436	11.76589	12.95938
7	8.513354	1.382051	11.76589
8	6.848024	1.209597	8.28335
9	5.052777	1.230549	6.217694
10	0.997300	3.273407	3.26457

Pada gambar 3 dibawah ini perlihatkan perbandingan dari hasil data mentah yang belum dikalibrasi sensor dan data pH yang sudah dikalibrasi yaitu hasil perhitungan menghasilkan data berikut.



Gambar 3. Perbandingan data

Berikut merupakan cara menghitung nilai pH

$$pH = -\log[H^+]$$

Di mana pH adalah nilai keasaman atau kebasaaan suatu larutan, $[H^+]$ adalah konsentrasi ion hidrogen dalam larutan tersebut, dan log adalah fungsi logaritma basis 10. Rumus ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi ion hidrogen dalam larutan, semakin rendah nilai pH. Sebaliknya, semakin rendah konsentrasi ion hidrogen dalam larutan, semakin tinggi nilai pH. Sebagai contoh, jika konsentrasi ion hidrogen dalam suatu larutan adalah 10^{-5} mol/L, maka pH larutan tersebut akan menjadi

$$5 (pH = -\log[10^{-5}] = 5) [5].$$

Setelah nilai pH sudah didapat maka selanjutnya melakukan kalibrasi pH guna

untuk menghasilkan pengukuran yang akurat dan sesuai dengan standar pH yang ada. Proses kalibrasi sensor pH bertujuan untuk menentukan kembali respons sensor pH terhadap pH standar yang diketahui sehingga memberikan hasil pengukuran pH yang akurat. Berikut ini adalah rumus umum untuk kalibrasi sensor pH:

$$pH = mV + C$$

Keterangan

pH : nilai pH dari larutan yang diukur

V : tegangan keluaran sensor pH dari larutan yang diukur

m : kemiringan garis kalibrasi (slope)

C : nilai pergeseran garis kalibrasi (intercept)

Untuk melakukan kalibrasi sensor pH, perlu adanya melakukan dua kali kalibrasi menggunakan buffer pH standar, seperti pH 4.0 dan pH 7.0, atau pH 7.0 dan pH 10.0 [5].

Setelah didapatkannya nilai pH dari sensor pH maka dilanjutkan dengan penggunaan regresi linier. Tujuan dari regresi linier adalah untuk memprediksi nilai variabel terikat berdasarkan nilai variabel bebas yang diberikan [8]. Penelitian ini menunjukkan bagaimana keadaan pH dapat diperkirakan dari data yang diperoleh dengan pengukuran. Untuk mendapatkan perkiraan maksimum, kondisi pengukuran yang tepat harus ditentukan terlebih dahulu. Akurasi pengukuran dicapai dengan 2 data yang dijadikan dependen dan independen untuk diolah di algoritma regresi linier. Persamaan regresi linier dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$y = a + bx$$

Keterangan :

y : variabel dependen

x : variabel independen

a : Konstanta (intercept)

b : koefisien regresi (slope)

Dimana nilai a dan b dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini :

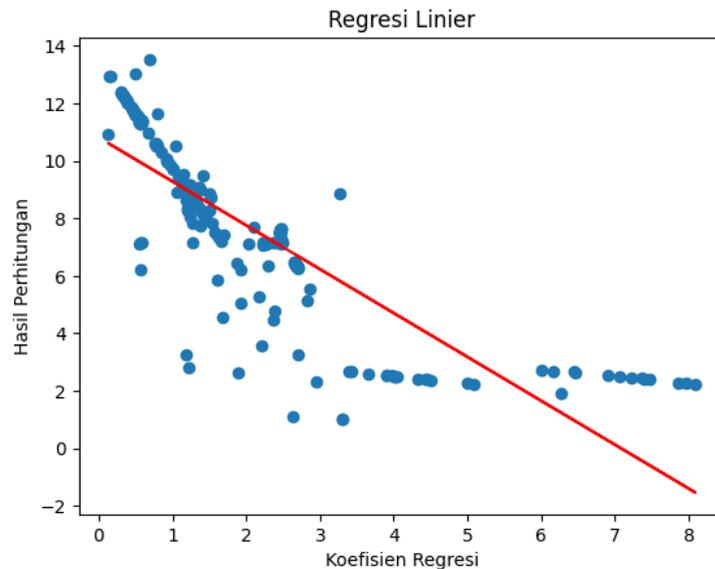
$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

Sedangkan formula yang digunakan menghitung b : koefisien regresi (slope)

b=

$$\frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

Berdasarkan hasil persamaan Regresi Linier diatas maka nilai data pH sebelumnya dihitung lalu menghasilkan diagram pada gambar 4.



Gambar 4. Grafik setelah dihitung regresi Linier

Hasil yang diperoleh dari data yang telah diambil menunjukkan koefisien regresi diambil dari sinyal listrik yang dihasilkan oleh sensor pH dan, nilai hasil perhitungan diambil dari rata rata nilai pH.

Dengan hasil akurat sebagai berikut :

Tabel 2. Regresi Linier

No	Identitas	Hasil
1	Koefisien Regresi	-1.5272908000906296
2	Hasil perhitungan (pH)	10.81550695634706

Berdasarkan hasil penelitian yang ada pada tabel 2 yang menggunakan sensor pH dan algoritma Regresi Linier didapatkan hasil perhitungan yang merupakan pH air 10.81 sedangkan pada penelitian sebelumnya yang menggunakan pH beat sensor memiliki hasil pH air pada kualitas air untuk aquaculture adalah 3.45 hingga 9.58.

I.F. Simpulan

Berdasarkan analisis dan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan yaitu dapat memonitoring secara langsung dari sensor pH. Dan melalui hasil perhitungan regresi linier dengan persamaan dependen dan independen yang didapatkan dalam sensor pH pada tabel 2 dari percobaan uji coba menggunakan regresi linier dimana hasil pembacaan pH bisa membantu sesuai kebutuhan dari data yang diperoleh.

Dari data yang sudah diambil memiliki selisih rata-rata jarak yang lumayan jauh yaitu dari data mentah memiliki rata-rata 6,688 dan dari data sensor yang sudah dikalibrasi memiliki rata-rata 10,210 dari kedua data tersebut memiliki selisih 3,522. Seperti fungsi dari kalibrasi sensor ialah untuk mengukur variabel output sensor agar lebih akurat dan lebih konsisten dari waktu ke waktu sehingga bisa

meminimalisir kesalahan dalam pengukuran dan juga dapat mengoptimalkan kerja sensor.

Dan dari perhitungan dengan regresi linier memiliki hasil jika dari data yang didapatkan dari beberapa minggu alat dipasang dalam kolam tambak udang ialah pH air mendapatkan nilai 10,8 yang berarti bersifat basa. Dengan adanya monitoring secara real time maka nelayan bisa melakukan tindakan dini jika air pH dalam kolam tidak sesuai dengan yang diharapkan karena pada normalnya pH pada kolam udang memiliki nilai 6,5 hingga 9. Data tersebut didapatkan dari sensor pH yang sudah dikalibrasi lalu data tersebut dikirimkan ke dashboard yang terintegrasi dengan arduino.

Adanya akurasi perhitungan prediksi kadar pH menggunakan algoritma Regresi Linier juga membantu dalam memonitoring kadar pH kolam nelayan tambak udang.

J.G. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Mitra pada penelitian ini adalah tambak udang Vaname yang terletak di pantai Ketawang, Grobogan, Purworejo, Jawa Tengah yang telah membantu dalam penelitian ini.

K.H. Referensi

- [1] Kementerian Kelautan dan Perikanan, "PROGRAM PERCEPATANPENGEMBANGAN TAMBAK UDANG NASIONAL." MENTERI KELAUTAN DAN PERIKANAN, Jul. 27, 2020.
- [2] "Strategi_Pengelolaan_Perikanan_Berkelanjutan.pdf." Accessed: Oct. 16, 2021. [Online]. Available: https://www.bappenas.go.id/files/7614/4401/4206/Strategi_Pengelolaan_Perikanan_Berkelanjutan.pdf
- [3] A. G. Orozco-Lugo et al., "Monitoring of water quality in a shrimp farm using a FANET," *Internet Things*, p. 100170, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.iot.2020.100170.
- [4] Y. Y. Maulana, G. Wiranto, D. Kurniawan, I. Syamsu, and D. Mahmudin, "Online Monitoring of Shrimp Aquaculture in Bangka Island Using Wireless Sensor Network," *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 8, no. 2, p. 358, Mar. 2018, doi: 10.18517/ijaseit.8.2.2428.
- [5] Y. Chen & R. Compton, "A Calibration-Free pH Sensor Using an In-Situ Modified Ir Electrode for Bespoke Application in Seawater," *Sensors*, vol. 22, no. 9, 2022, doi: 10.3390/s22093286.
- [6] K. Huang, W. Liao, Y. Wang, & J. Wu "A novel wireless pH sensor for seawater based on SiO₂-coated capacitive microelectromechanical systems," *Sensors Actuators B Chem.*, vol. 283, pp. 188–195, 2019.
- [7] Z. Yan, D. Chen, & X. Xu, "Linear regression analysis on financial performance of SMEs," *J. Ind. Eng. Manag.*, vol. 13, pp. 500–516, 2020.
- [8] C. Science, "Prediction of Student ' s Academic Performance Using Linear Regression," no. x.

- [9] O. Adekunle, O. O. Olaniyi, M. O. Adigun, & A. O. Akinola, "Predicting Student Academic Performance Using Linear Regression: A Case Study," *Int. J. Emerg. Technol. Learn.*, vol. 16, pp. 220–232, 2021.
- [10] C. H. Kok, M. Azrul, M. Azlan, & S. E. Ong, "IoT based Low Cost Distributed Air Quality Monitoring System for Big Data Collection," no. August, pp. 21–22, 2020.
- [11] D. Manyvone, R. Takitoge, & K. Ishibashi, "Wireless and Low-Power Water Quality Monitoring Beat Sensors For Agri and Acqua-Culture IoT Applications," 2018 15th Int. Conf. Electr. Eng. Comput. Telecommun. Inf. Technol., pp. 122–125, 2018.
- [12] Y. Irawan, A. Febriani, R. Wahyuni, & Y. Devis, "Water Quality Measurement and Filtering Tools Using Arduino Uno , pH Sensor and TDS Meter Sensor," vol. 2, no. 5, 2021, doi: 10.18196/jrc.25107.
- [13] A. Kot, A. Nawrocka, IEEE Industry Applications Society, Institute of Electrical and Electronics Engineers, & Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie. Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki. Department of Process Control, Proceedings of the 2019 20th International Carpathian Control Conference (ICCC) : Kraków - Wieliczka, Hotel Turówka, Poland, May 26-29, 2019.
- [14] K. Sabangau, K. Bangkirai, & K. Palangka, "Pengelolaan air gambut menjadi air bersih dengan teknologi sederhana di kecamatan sabangau kelurahan bangkirai kota palangka raya," vol. 7, pp. 56–62, 2022.
- [15] Y. Rahmanto, A. Rifaini, S. Samsugi, & S. D. Riskiono, "SISTEM MONITORING pH AIR PADA AQUAPONIK MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER ARDUINO UNO," vol. 01, no. 1, pp. 23–28, 2020.
- [16] J. Ilmu & T. K. Tropis, "Studi kelayakan budidaya tambak di lahan pesisir kabupaten purworejo," pp. 191–204, 2019.
- [17] E. S. Ningrum, P. Susetyo, & T. A. Putra, "Sistem Sensor Keasaman Air (pH) untuk Aplikasi Pengontrolan Kondisi Air Tambak Udang."
- [18] A. Nurkholis % A. Sucipto, "SISTEM MONITORING KELEMBABAN GABAH PADI BERBASIS ARDUINO," vol. 1, no. 1, pp. 1–7, 2020.
- [19] K. Pindrayana, R. I. Borman, B. Prasetyo, & S. Samsugi, "Prototipe Pemandu Parkir Mobil Dengan Output Suara Manusia Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno," vol. 2, no. 2, pp. 71–82, 2018.
- [20] F. Umam and H. Budiarto, "Water Quality Control for Shrimp Pond Using Adaptive Neuro Fuzzy Inference System : The First Project," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 953, p. 012134, Jan. 2018, doi: 10.1088/1742-6596/953/1/012134.
- [21] S. J. Miller, "The Method of Least Squares," p. 7.
- [22] R. M. Kingsta, A. S. Saumi, and P. Saranya, "Design and Construction of Arduino Based pH Control System for Household Waste Water Reuse," in 2019 3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI), Apr. 2019, pp. 1037–1041. doi: 10.1109/ICOEI.2019.8862752.
- [23] I. K. Ekroll, J. Avdal, A. Swillens, H. Torp, and L. Løvstakken, "An Extended Least Squares Method for Aliasing-Resistant Vector Velocity Estimation,"

IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control, vol. 63, no. 11, pp. 1745–1757, Nov. 2016, doi: 10.1109/TUFFC.2016.2591589.