



Sistem sensor untuk pemantauan kadar oksigen terlarut berbasis galvanik pada kolam budidaya ikan air tawar

A galvanic-based dissolved oxygen levels monitoring sensor system in freshwater ponds

Damar Wicaksono^{1*}, Tatag Lindu Bhakti¹⁾, Restiadi Bayu Taruno¹⁾, Melvin Rahma Sayuga Subroto¹⁾, Anita Mustikasari²⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Komputer, Universitas Nahdlatul Ulama Yogyakarta
Jl. Lowanu No.47, Sorosutan, Kec. Umbulharjo, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia 55162

²⁾ Program Studi Manajemen, Universitas Negeri Yogyakarta
Jl. Colombo Yogyakarta No.1, Caturtunggal, Kec. Depok, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia 55281

Cara sitasi: D. Wicaksono, T. L. Bhakti, R. B. Taruno, M. R. S. Subroto, and A. Mustikasari, "Sistem sensor untuk pemantauan kadar oksigen terlarut berbasis galvanik pada kolam budidaya ikan air tawar," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 9, no. 1, pp. 83-89, 2021. doi: [10.14710/jtsiskom.2021.13996](https://doi.org/10.14710/jtsiskom.2021.13996)

Abstract – This study aims to develop low-cost and environmentally friendly material galvanic-based dissolved oxygen sensors. A Dissolved oxygen (DO) sensor has been designed and fabricated on an 85 x 205 mm galvanic-based. The sensor structure device consists of Al-Zn reference layer electrode, Ag/AgCl active electrode, 120ml KCl electrolyte solvent 0,1 M, and closed by TiO₂ membrane (PTFE). The Al-Zn formation reference electrode was done by Ag layer chlorination using FeCl₃, and the TiO₂ membrane was formed by TiO₂ paste screen printing. The test was done to measure the sensor's performance based on the current-voltage characteristics between 1.0 and 1.8 V. The results showed that a stable diffusion current was obtained when the input voltage was 1.5 V, resulting in the best sensor performance with a sensitivity of 0.7866 $\mu\text{A L/mg}$ and a stable step response time of 3 mins. This prototype sensor showed high potential for prototyping for a low-cost water quality monitoring system.

Keywords – sensors design; dissolved oxygen; electrode; water; membrane

Abstrak – Penelitian ini bertujuan mengembangkan sensor oksigen terlarut berbasis galvanik yang ramah lingkungan dan terjangkau oleh masyarakat. Struktur desain sensor ini terdiri dari lapisan elektroda referensi Al-Zn, elektroda aktif Ag / AgCl, pelarut elektrolit KCl 120 ml 0,1 M, dan ditutup dengan membran TiO₂ (PTFE). Pembentukan elektroda referensi Al-Zn dilakukan dengan klorinasi lapisan Ag menggunakan FeCl₃ dan membran TiO₂ dibentuk dengan sablon pasta TiO₂. Pengujian dilakukan untuk mengukur kinerja sensor berdasarkan karakteristik tegangan arus antara 1,0 sampai 1,8 V. Hasil penelitian menunjukkan bahwa arus difusi yang stabil diperoleh pada saat tegangan

input 1,5 V dan menghasilkan kinerja sensor terbaik dengan sensitivitas 0,7866 $\mu\text{A L/mg}$ dan waktu respons langkah stabil 3 menit. Prototipe sensor ini menunjukkan potensi yang sangat tinggi untuk digunakan dalam sistem pemantauan kualitas air online berbiaya rendah.

Kata kunci – desain sensor; dissolved oxygen; elektroda; air tawar; membran

I. PENDAHULUAN

Air merupakan media hidup bagi hewan akuatik, yang di dalamnya terdapat kandungan oksigen terlarut untuk proses pernapasan, makanan, dan sumber mineral bagi siklus hidup ikan Nila. Salah satu kualitas air yang terkandung adalah kadar oksigen yang terlarut di dalamnya [1]. Kekurangan kadar oksigen dapat menyebabkan ikan stres, mudah tertular penyakit, dan mengganggu pertumbuhan ikan tersebut [2].

Kandungan oksigen dapat menurun akibat pernafasan organisme dalam air dan perombakan bahan organik [3]. Tingkat konsumsi ikan Nila akan menurun jika kebutuhan oksigen dalam air tidak terpenuhi dan mengakibatkan penurunan kondisi kesehatan ikan dan bahkan menyebabkan kematian [4]. Konsentrasi oksigen terlarut (DO) ideal untuk pertumbuhan ikan Nila adalah 4,5 hingga 7 mg/L.

Pengukuran kadar oksigen terlarut dapat menggunakan dua metode, yaitu dengan metode titrasi dan metode elektro kimia [5]. Metode titrasi dilakukan dengan cara Winkler, sedangkan metode elektro kimia dengan cara langsung untuk menentukan oksigen terlarut dengan alat DO meter. Namun, tidak semua penambang mampu melakukan metode Winkler karena cukup rumit.

Sensor oksigen terlarut elektrokimia lainnya yang umum digunakan adalah sensor tipe sel galvanik, tipe konduktansi, dan tipe potensiometri. Struktur tipe sel galvanik dan sensor polarografi serupa [6]. Reaksi

* Penulis korespondensi (Damar Wicaksono)
Email: damar@unu-jogja.ac.id

reduksi terjadi ketika molekul oksigen dalam sampel air mencapai katoda, tetapi tidak diperlukan tegangan polarisasi tambahan [7].

Berdasarkan prinsip sensor oksigen terlarut tipe galvanik, Dong dkk. [8] menyiapkan sensor oksigen tipe galvanik dengan menggunakan elektroda tembaga aktif sebagai anoda, elektroda emas sebagai katoda, dan larutan KOH sebagai elektrolit. Mempertimbangkan biaya dan keterbatasan lain dari metode tradisional, sel biofuel juga digunakan untuk pengukuran oksigen terlarut. Zhang dan Angelidaki [9] berhasil mengembangkan sensor *submersible microbial fuel cell* (SBMFC) sederhana dan akurat yang dapat dengan cepat memantau tingkat oksigen terlarut di berbagai lingkungan perairan. Hasil yang dilaporkan menunjukkan generasi saat ini dimediasi mikroba yang dapat direproduksi sebagai fungsi dari konsentrasi oksigen terlarut.

Sensor oksigen terlarut konduktif menggunakan talium atau senyawa lain untuk bereaksi dengan molekul oksigen dalam air untuk menghasilkan ion talium. Reaksi kimia yang menjadi dasar sensor bersifat khusus bagi molekul oksigen sehingga konsentrasi oksigen terlarut dapat dihitung dengan mengukur perubahan konduktivitas sampel air. Yu dkk. [10] menggunakan larutan standar asam klorida untuk mentitrasi produk reaksi talium dan oksigen terlarut dalam air, dan titik akhir titrasi ditunjukkan dengan metode konduktansi. Zhang dkk. [11] mengajukan metode baru berdasarkan metode pengukuran konduktansi. Sejumlah kecil air diambil dari pipa dengan pompa air presisi ke kolam pengukuran konduktansi, dan logam talium digunakan sebagai bahan konsumsi untuk pengukuran tidak langsung, yang tidak mencemari badan air.

Sensor oksigen terlarut potensiometri berisi bahan sensitif oksigen yang dipasang pada permukaan elektroda kerja [12]. Ketika molekul oksigen dekat dengan permukaan sensitif, elektroda kerja terpolarisasi, dan potensial oksigen terlarut dapat diperoleh dengan mengukur perbedaan tegangan antara elektroda kerja dan elektroda referensi [13]. Nilai potensial ini berbanding lurus dengan logaritma konsentrasi oksigen terlarut dalam sampel air. Oleh karena itu, nilai konsentrasi oksigen terlarut dapat ditentukan.

Martínez-Máñez dkk. [14] menggunakan RuO₂ sebagai bahan aktif dan TiO₂ atau *polyisofthalamide diphenylsulfone* (PIDS) sebagai membran, mengembangkan sensor oksigen terlarut potensiometri dengan teknologi membran tebal. Zhang dan Sun [15] mengusulkan metode kuasi-ekuilibrium. Dalam metode ini, elektroda platina dipolarisasi di anoda dan katoda, yang memperbaiki masalah waktu keseimbangan elektroda yang lama. Zimmermann dkk. [16] menyadari deteksi oksigen terlarut melalui kombinasi potensiometri konvensional dengan protokol pra polarisasi aktif, dengan sensitivitas dalam kisaran konsentrasi oksigen 60 mV/dec.

Kajian mengenai perakitan sensor DO telah dilakukan dengan berbagai metode. Hal serupa yang dilakukan dalam [17] dan [18]. Sistem ini dapat merakit

sensor, mengakuisisi data pengukuran dari nilai oksigen terlarut, dan menggunakannya untuk memantau kualitas air pada tambak udang. Namun, sistem ini belum menggunakan bahan berbasis galvanik sebagai bahan pembentukan elektroda referensi sebagai bahan yang mudah terjangkau dan mudah ditemukan di masyarakat.

Di sisi lain, Fu dkk. [19] telah melakukan penelitian mengenai perakitan sensor oksigen terlarut dengan prinsip pada *galvanic displacement synthesized reduced graphene oxide-silver nanoparticles* (RGO/Ag) komposit dimodifikasi dengan *grassy carbon electrode* (GCE). Nanokomposit RGO/Ag hasil sintesis dikarakterisasi dengan spektroskopi UV-vis, spektroskopi Raman, *scanning electron microscopy* (SEM) dan difraksi sinar-X (XRD). GCE yang dimodifikasi dengan nanokomposit RGO/Ag menunjukkan peningkatan yang signifikan pada deteksi oksigen terlarut. Namun, tingkat kompleksitas untuk fabrikasi perangkat ini cenderung tinggi sehingga kurang sesuai jika diproduksi di kalangan masyarakat pada umumnya.

Dari hal tersebut di atas, sensor oksigen terlarut, seperti sensor tipe sel galvanik, tipe konduktansi, dan tipe potensiometri, banyak digunakan dalam memantau oksigen terlarut dalam kualitas air karena strukturnya yang sederhana dan pengukuran online yang mudah. Keberhasilan bisnis budidaya perikanan tidak terlepas dari ketersediaan benih ikan. Untuk mengetahui kualitas oksigen tersebut, dibutuhkan alat yang dapat membaca kualitas air yakni sensor. Hingga saat ini masih banyak petani menggunakan instrumen tersebut dengan harga yang relatif tinggi sehingga tidak semua petani ikan dapat menggunakan instrumen yang dimasukkan ke dalam air dan pembacaan yang diperoleh akan dicatat.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan sensor DO untuk memantau oksigen terlarut yang terjangkau. Berbeda dengan [20] yang menggunakan dengan teknologi *thick film* serta tahapan-tahapan proses dalam teknologi *screen printing* dan [21] dengan basis sensor perpindahan galvanik disintesis tereduksi *graphene oksida-perak nanopartikel* (RGO / Ag) komposit dimodifikasi elektroda karbon (GCE) dengan bahan baku yang relative mahal dan bahan-bahan yang kompleks, penelitian ini menggunakan bahan sensor *solid state*, yakni bahan ramah lingkungan dengan biaya pembuatannya yang lebih rendah dan masa pakai yang lebih lama.

II. METODE PENELITIAN

Artikel ini menjabarkan desain, fabrikasi, dan karakterisasi sensor *dissolved oxygen* (DO) berbasis galvanik. DO merupakan salah satu parameter penting dalam pemantauan kualitas air karena sangat penting bagi kehidupan organisme akuatik. Banyak reaksi biologis dan kimiawi di dalam air dipengaruhi oleh konsentrasi DO. Prinsip kerja sensor DO didasarkan pada pengukuran elektrokimia sampel air.

A. Waktu dan tempat penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Februari 2020 sampai bulan September 2020 di kalangan kelompok tani ikan nila yang berlokasi di desa Bokoharjo, Sleman, Yogyakarta.

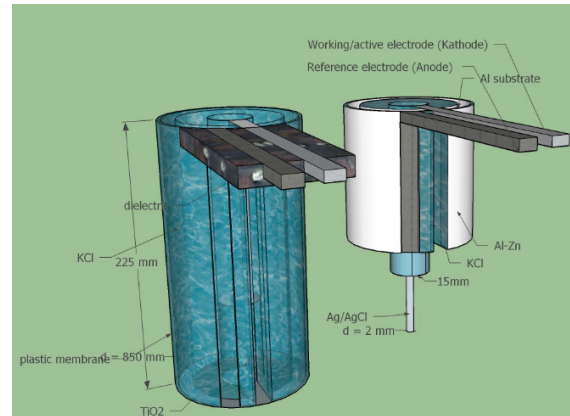
B. Desain dan fabrikasi perangkat sensor

Bahan awal untuk fabrikasi perangkat adalah substrat Al_2O_3 55 x 55 mm 98% yang menjadi lapisan penutup antara katoda dan anoda. Seperti ditunjukkan pada Gambar 1, perangkat ini berukuran diameter 85 mm dengan tinggi 225 mm. Struktur yang dikembangkan di antaranya terdiri dari lapisan konduktor elektroda utama Ag / AgCl (katoda), elektroda referensi Zn-Al (anoda), larutan Elektrolit KCl, membran TiO_2 , dan passivasi dielektrik berupa Si (sealant) dan dilapisi kembali dengan lapisan *waterproofing* untuk mencegah terhubungnya dua buah lapisan konduktor tersebut dan agar tidak terjadi kebocoran pada larutan elektrolit yang dipakai.

Langkah pertama yang dilakukan untuk proses membuat sensor ini adalah membentuk lapisan elektroda konduktor referensi Al-Zn secara melingkar dan menghubungkan terhadap kawat probe sebagai anoda selanjutnya disebut sebagai *counter electrode (CE)*. Proses tersebut dikerjakan dengan *screen printing* secara langsung (*screen#1*) dari lelehan lapisan Al-Zn (ESL) pada substrat Al_2O_3 dan diikuti dengan proses pemanasan dan pengeringan pada temperatur 150 °C selama 20 menit.

Hal serupa juga dilakukan pada elektroda referensi Ag/AgCl sebagai lapisan elektroda utama selanjutnya disebut *working electrode (WE)* dari lelehan lapisan Ag/AgCl (ESL) pada substrat Al_2O_3 dan diikuti dengan proses pemanasan dan pengeringan pada temperatur 150 °C selama selama 20 menit. Pembentukan lapisan elektrolit KCl dilakukan secara manual dengan mengaplikasikan larutan 0,1 M sebanyak 120 ml yang melarutkan seluruh elemen yang ada pada desain sensor termasuk elektroda aktif, referensi dan elemen lainnya.

Tahap selanjutnya adalah menutup larutan elektrolit tersebut menggunakan membran *teflon coated fiberglass* TiO_2 , selanjutnya disebut sebagai membran PTFE. Hal ini dilakukan secara manual dengan menempelkan dan melapisi elektroda referensi dengan membran PTFE dan melapisi gel PTFE berbasis material nano (dibentuk melalui proses sol gel) yang bersifat hidrofobik di atas lapisan KCl. Pengeringan dilakukan menggunakan oven dengan temperatur sebesar 150 °C selama 15 menit. Untuk mencegah terjadinya arus pendek di antara ujung elektroda, maka lapisan khusus passivasi dielektrik diberikan dengan menggunakan bahan silica dan dilengkapi dengan lapisan *waterproofing* menggunakan *asam perfluorooctanoat* (PFOA) yang bersifat hidrofilik berupa larutan yang dioleskan pada silica yang telah merekat di antara dua buah elektroda.



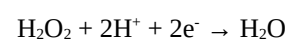
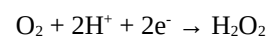
Gambar 1. Struktur sensor DO sensor berbasis galvanik didesain dengan ukuran 85 mm x 225 mm yang dimasukkan ke dalam air dengan variasi kadar oksigen terlarut

C. Karakteristik perangkat

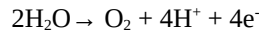
Teknik voltametri telah digunakan untuk mengkarakterisasi sensor ini. Karakterisasi mendasar perangkat sensor dilakukan dengan menggunakan generator fungsi sebagai sumber tegangan untuk menghasilkan rentang tegangan antara 0,75 hingga 1,6 VDC dengan peningkatan langkah 30 mV sebagai tegangan kerja yang diperlukan untuk mengoperasikan desain sensor DO ini. Perangkat yang diuji direndam dalam kolam air ikan Nila yang diberi aerator oksigen bagi untuk mengetahui larutan oksigen dalam kolam tersebut sedangkan simulasi dilakukan pada wadah berisi air dengan aerator sederhana. Jumlah oksigen terlarut dalam penampungan air diukur dan dikontrol oleh pengukur DO komersial (Lutron PDO 519).

Pengujian awal ini digunakan untuk mengetahui karakteristik arus dan tegangan dari sensor tersebut sehingga didapatkan kondisi kerja yang optimum yang menghasilkan arus difusi stabil dalam jangka waktu yang lama (dengan tingkat linieritas proporsional). Kondisi optimum tersebut bertujuan untuk mengetahui karakteristik arus listrik DO yang dapat digunakan untuk mengetahui sensitivitas dan jangkauan linier pada frekuensi kerja sensor ini.

Penampang skematik perangkat dikembangkan dengan prinsip operasinya ditunjukkan pada Gambar 2. Sensor DO elektrokimia berbasis galvanik ini beroperasi dengan mereduksi oksigen terlarut yang berada dalam air dan menghasilkan arus yang dapat diukur dengan menggunakan pengukur arus pada kedua ujung probe elektroda. Penggunaan lapisan hidrofobik PTFE sebagai membran permeabel larutan air telah ditunjukkan oleh [17]. Dalam penelitian ini, membran ini telah dibuat dari proses sol-gel sehingga material nanosize dapat meningkatkan afinitasnya terhadap gas O_2 . Reaksi kimia lengkap pada WE dinyatakan sebagai berikut:



Pada elektroda *counter* (CE) atau anoda, molekul air yang dihasilkan diubah kembali menjadi reaktan. Reaksi ini dapat dinyatakan sebagai:



McLaughlin dkk. [22] menyatakan bahwa kinerja dinamik perangkat dapat diprediksi dengan menyelesaikan persamaan difusi menggunakan langkah tegangan yang diterapkan, terlepas dari ukuran dan geometri elektroda. Arus yang mengalir melalui WE dan CE dinyatakan menggunakan Persamaan 1. Parameter I_o adalah arus awal, I_c dan I_a adalah arus terbatas difusi di katoda (WE) dan anoda (CE), α koefisien transfer, n jumlah elektron, f rasio konstanta Faraday dengan gas ideal konstan dan suhu, dan η tegangan berlebih. Reaksi dan perpindahan oksigen di WE dikendalikan oleh proses kinetik (pada η rendah) dan difusi (pada η tinggi).

$$\frac{I}{I_o} = \left(1 - \frac{1}{I_c}\right) e^{-\alpha n f \eta} - \left(1 - \frac{1}{I_a}\right) e^{(1-\alpha) \alpha n f \eta} \quad (1)$$

D. Teknik pengambilan data

Penentuan tegangan referensi untuk sensor dilakukan dengan menggunakan rangkaian alat seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Tegangan referensi dibuat dari (0,1 – 1) V. Tegangan referensi yang dipilih adalah tegangan referensi yang membuat tegangan keluar sensor dalam keadaan tetap (*steady*).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perancangan perangkat keras

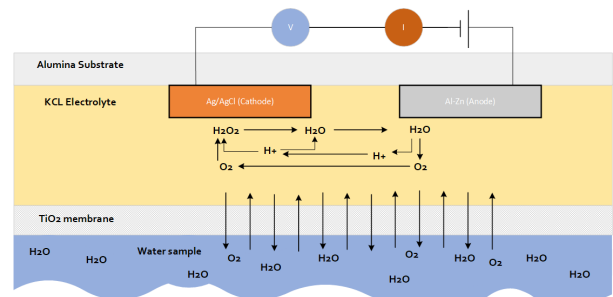
Komponen sensor oksigen terlarut berbasis galvanik telah dirakit dalam penelitian ini terdiri dari 1 batang logam perak dengan diameter 2 mm dan panjang 15 cm; 1 buah batang logam galvalum dengan diameter 2 mm dengan panjang 20 cm; PTFE membran hydrofobik filter pore 0,22 μm diameter 47mm, PCB Bed Heat Bed 24V 7.85k mm², dan larutan elektrolit KCl 0,1 M sebanyak 120 ml seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

B. Penentuan tegangan referensi sensor oksigen galvanik

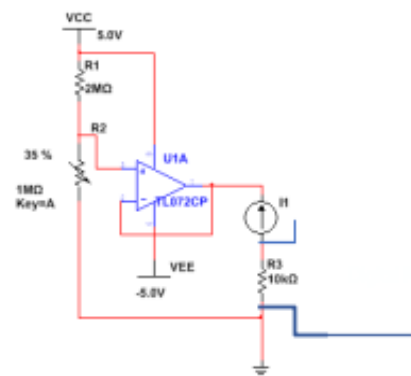
Tegangan referensi divariasikan sebesar 0,1 sampai 1 V. Tegangan referensi dihubungkan pada sensor dan dilakukan pengukuran tegangan keluaran sensor dengan menggunakan multimeter. Pengambilan data dilakukan selama 150 detik. Tegangan referensi yang tepat untuk sensor galvanik sebesar 0,7 V pada konsentrasi DO sebesar 7,3 mg/l ditunjukkan oleh Gambar 5.

C. Karakterisasi awal sensor oksigen galvanik

Karakterisasi sensor diperlukan untuk mengetahui kerja sensor. Karakterisasi dilakukan dengan cara membandingkan nilai tegangan keluaran sensor dengan kadar oksigen terlarut. Tegangan referensi dihubungkan pada sensor sebesar 0,7 V. Pengukuran nilai hambatan



Gambar 2. Skema penampang pertukaran oksigen pada pengukuran tegangan dan arus dihasilkan pada lapisan substrate alumina



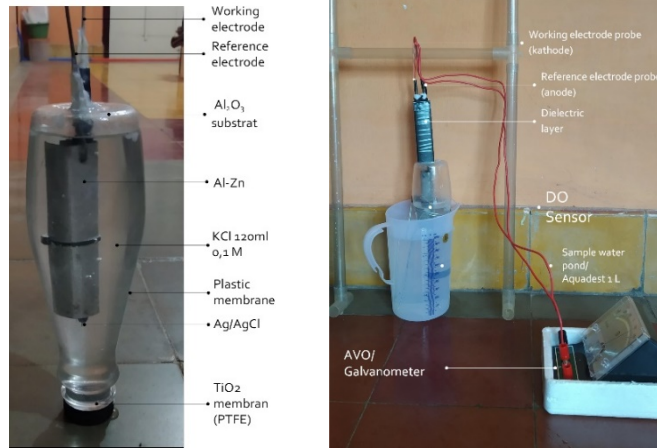
Gambar 3. Rangkaian percobaan untuk menentukan tegangan referensi sensor

potensiometer dilakukan pada saat tegangan 0,7 V. Hasil data karakterisasi sensor polarografik ditunjukkan sebagai grafik hubungan antara kadar oksigen dan tegangan keluaran sensor ditunjukkan oleh Gambar 6.

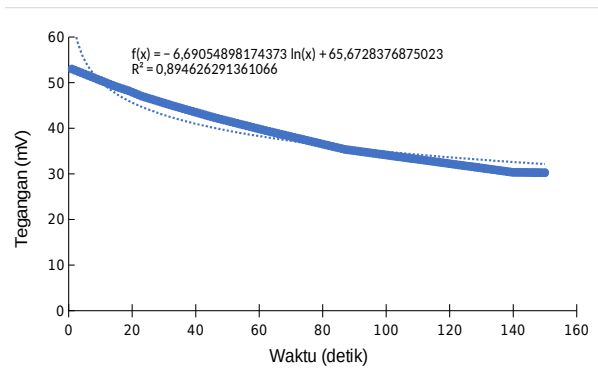
D. Karakterisasi sensor oksigen galvanik menggunakan multi variasi kadar DO

Karakterisasi sensor menggunakan nilai kadar DO bervariasi diperlukan untuk mengetahui respons tegangan terhadap arus yang dihasilkan. Perubahan nilai arus yang dihasilkan seperti pada [19]. Enam jenis variasi konsentrasi DO diujikan dan dapat melakukan kalibrasi dari rentang konsentrasi terendah hingga paling tinggi. Hal ini menunjukkan total nilai difusi arus listrik seperti dalam (1).

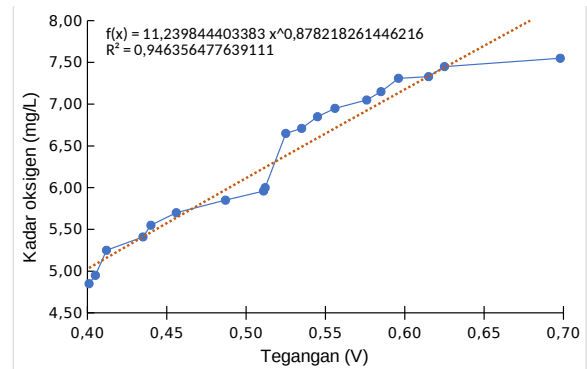
Karakteristik I-VI dari sensor yang diukur pada berbagai nilai DO ditunjukkan pada Gambar 7. Grafik ini menunjukkan peningkatan nilai arus terhadap peningkatan tegangan input yang ada dan tanggapan yang lebih tinggi dengan konsentrasi DO yang lebih tinggi. Pengamatan lebih lanjut pada Gambar 8 juga menunjukkan bahwa daerah kendali kinetik terjadi ketika tegangan masukan antara 0,1 - 1,2 V, sedangkan daerah kendali difusi terjadi antara tegangan masukan 1,3 - 1,7 V. Ketika tegangan input di atas 1,4 V, arus yang diukur mulai meningkat tajam. Tegangan masukan yang dipilih yang memberikan linieritas terbaik adalah



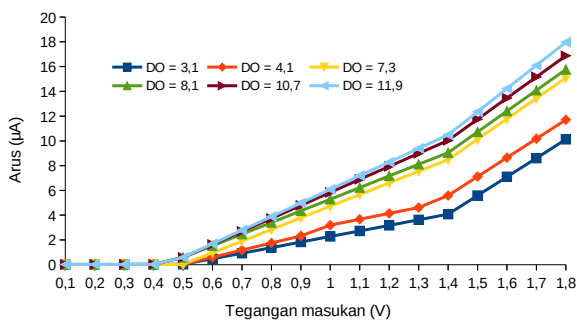
Gambar 4. Desain sensor DO berbasis galvanik dengan variasi sampel air yang diambil



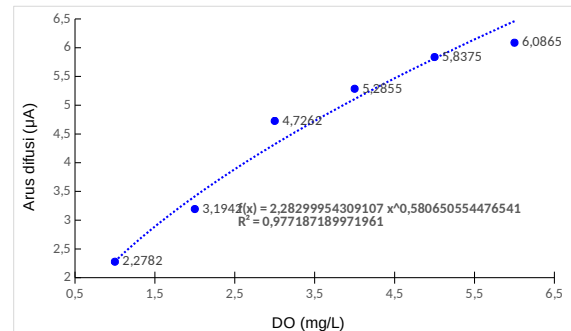
Gambar 5. Grafik hubungan antara waktu dengan tegangan keluaran sensor pada tegangan referensi 0,7 V



Gambar 6. Grafik hubungan antara kadar oksigen terlarut dengan tegangan keluaran sensor



Gambar 7. Hasil pengukuran dengan metode voltametrik dari sensor dengan konsentrasi oksigen terlarut tertentu



Gambar 8. Kalibrasi untuk perangkat sensor DO pada rentang kadar oksigen terlarut dari 3,1 mg/L hingga 11,9 mg/L

1,5 V, yang juga harus memberikan rentang dinamis maksimum dari tingkat konsentrasi.

Untuk setiap grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7, arus difusi total dapat ditemukan seperti yang dinyatakan dalam (1). Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode galvanik dapat dilakukan menggunakan pendekatan secara regresi untuk menemukan hubungan liniernya pada tegangan input antara 0,1 - 1,2 V. Persamaan regresi yang dihasilkan dapat diselesaikan dengan mensubstitusi tegangan input optimum, yaitu 1,5 V, ke dalam (1). Langkah ini dapat dilakukan untuk

setiap grafik yang sesuai dengan konsentrasi DO masing-masing untuk mendapatkan karakteristik I-DO dari sensor.

Hasil perhitungan dinyatakan pada Gambar 8 sebagai grafik kalibrasi perangkat sensor. Gradien regresi pada grafik tersebut merepresentasikan nilai dari sensitivitas sensor, yaitu 0,7866 $\mu\text{A L/mg}$. Meskipun sensor ini memiliki sensitivitas yang lebih rendah dibandingkan dengan elektroda Clark yang dijual secara komersial, yaitu 60 $\mu\text{A}/(\text{mg/L})$, sensor ini cukup memadai untuk aplikasi penginderaan oksigen terlarut [2]-[5], [17], [18].

Pembuatan purwarupa mikrotranduser deteksi kadar oksigen terlarut telah berhasil dilakukan dengan teknologi *thick film* dan tahapan-tahapan proses dalam teknologi *screen printing* seperti yang dilakukan dalam [20]. Upaya penggabungan *graphene* dengan nanopartikel Ag dapat menghasilkan material elektroda yang sesuai untuk aplikasi penginderaan DO [21]. Selain itu, karena ini adalah sensor *solid state*, maka dapat dibuat miniatur dan diintegrasikan dengan elektroda referensi mikrofabrikasi seperti [21]-[23] untuk membentuk sistem penginderaan lengkap dengan biaya yang sangat rendah.

IV. KESIMPULAN

Sensor DO berbasis galvanik telah berhasil dibuat dengan prinsip kerja berada pada elektroda kerja Ag/AgCl saat proses reduksi O₂ berlangsung. Hasil karakterisasi dengan teknik voltametri menunjukkan bahwa perangkat sensor memberikan linieritas dan rentang dinamis maksimum yang optimal pada tegangan input 1,4 V. Sensitivitas alat yang diukur dari kurva kalibrasi adalah 0,7866 µA L/mg, untuk konsentrasi DO berkisar antara 3,1 - 11,9 mg L. Waktu respons langkah sensor yang stabil diperoleh setelah pengukuran selama 5 menit, yang menunjukkan hasil cukup baik untuk sensor berbasis galvanik ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh DRPM Ditjen Penguatan Risbang melalui skema BOPTN dan LLDIKTI V Wilayah Yogyakarta serta kelompok tani ikan nila desa Bokoharjo, Sleman, Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Supriyadi and A. Androva, "Perancangan dan pembuatan aerator kincir angin savonius darrieus sebagai penggerak pompa untuk aerasi tambak," *Riptek*, vol. 9, no. 1, pp. 6–8, 2015.
- [2] M. F. Fuady, M. N. Supardjo, and Haeruddin, "Pengaruh pengelolaan kualitas air terhadap tingkat kelulushidupan dan laju pertumbuhan udang Vaname (*Litopenaeus Vannamei*) di PT. Indokor Bangun Desa, Yogyakarta," *Management of Aquatic Resources Journal*, vol. 2, no. 4, pp. 155–162, 2013. doi: [10.14710/marj.v2i4.4279](https://doi.org/10.14710/marj.v2i4.4279)
- [3] B. Nurlia and S. Sanjaya, "Analisa dan simulasi model kualitas air pada tambak dengan menggunakan kontrol logika fuzzy dan kontrol ON/OFF," *Skripsi*, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, Indonesia, 2013.
- [4] T. Budiardi, T. Batara, and D. Wahjuningrum, "Tingkat konsumsi oksigen udang vaname (*litopenaeus vannamei*) dan model pengelolaan oksigen pada tambak intensif," *Jurnal Akuakultur Indonesia*, vol. 4, no. 1, pp. 89–96, 2007. doi: [10.19027/jai.4.86-96](https://doi.org/10.19027/jai.4.86-96)
- [5] S. Salmin, "Oksigen terlarut (DO) dan kebutuhan oksigen biologi (BOD) sebagai salah satu indikator untuk menentukan kualitas perairan," *Jurnal Oseana*, vol. 30, no. 3, pp. 21–26, 2007.
- [6] J. Yu, "Introduction of three methods for determination of dissolved oxygen in water," *Current Fish Journal* vol. 2, pp. 78–79, 2017.
- [7] S. Zhao, H. Liu, W. Ding, Y. Tang, and Y. Li, "The development and experiment of aeration control system in pond," *Journal of Nanjing Agriculture University*, vol. 38, pp. 682–688, 2015. doi: [10.7685/j.issn.1000-2030.2015.04.024](https://doi.org/10.7685/j.issn.1000-2030.2015.04.024)
- [8] H. P. Dong, W. Zhang, and Y. L. Hao, "Galvanic cell oxygen sensors with active copper anode," *Instrumentation Science & Technology Journal*, vol. 36, pp. 1–3, 2007.
- [9] Y. Zhang and I. Angelidaki, *Energy recovery from waste streams with microbial fuel cell (MFC)-based technologies*. In Kgs. Lyngby; DTU Environment: Lyngby, Denmark, 2012.
- [10] J. Yu, H. Yang, S. Yang, and Y. Chen, "Determination of DO in water by conductometric titration," *Chinese Journal of Health Laboratory Technology*, vol. 14, pp. 24–25, 2004.
- [11] F. Zhang, H. Du, Q. Yao, and F. Dandan, "Design of on-line measuring device for dissolved oxygen in water," *Computer Knowledge Technology*, vol. 8, pp 247–248, 2017.
- [12] R. Martinez-Mañez, J. Soto, E. Garcia-Breijo, L. Gil, J. Ibáñez, and E. Llobet, "An electronic tongue design for the qualitative analysis of natural waters," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 104, no. 2, pp. 302–307, 2005. doi: [10.1016/j.snb.2004.05.022](https://doi.org/10.1016/j.snb.2004.05.022)
- [13] S. Zhuiykova and K. Kalantar-zadeh, "Development of antifouling of electrochemical solid state dissolved oxygen sensors based on nanostructured Cu_{0.4}Ru_{3.4}O₇ + RuO₂ sensing electrodes," *Electrochimica Acta*, vol. 73, pp 105–111, 2012. doi : [10.1016/j.electacta.2011.11.018](https://doi.org/10.1016/j.electacta.2011.11.018)
- [14] R. Martínez-Mañez, J. Soto, J. Lizondo-Sabater, E. García-Breijo, L. Gil, J. Ibáñez, and S. Alvarez, "New potentiometric dissolved oxygen sensors in thick film technology," *Sensor Actuators B: Chemical*, vol. 101, no. 3, pp. 295–301, 2004. doi : [10.1016/j.snb.2004.03.008](https://doi.org/10.1016/j.snb.2004.03.008)
- [15] X. Zhang and R.-D. Sun, "Determination of dissolved oxygen in water by quasi-equilibrium method," *Xiandai Huagong/Modern Chemical Industry*, vol. 18, no. 4, pp. 170–173, 2014.
- [16] P. Zimmermann, A. Weltin, G. A. Urban, and J. Kieninger, "Active potentiometry for dissolved oxygen monitoring with platinum electrodes," *Sensors (Switzerland)*, vol. 18, no. 8, 2018. doi: [10.3390/s18082404](https://doi.org/10.3390/s18082404)
- [17] E. Salfia, A. Azhar, and M. Kamal, "Rancang bangun alat pengendalian dan monitoring kualitas air tambak udang berbasis salinitas dan kadar oksigen terlarut," *Jurnal Elektro*, vol. 2, no. 2, pp. 24–29, 2018.

- [18] I. R. Mardhiyah, "Sistem akuisisi data pengukuran oksigen terlarut pada air tambak menggunakan sensor dissolved oxygen," *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, vol. 5, no. 2, pp. 1–5, 2017.
- [19] L. Fu, Y. Zheng, Z. Fu, A. Wang, and W. Cai, "Dissolved oxygen detection by galvanic displacement-induced graphene/silver nano composite," *Bulletin Material Science*, vol. 38, no. 3, pp. 611–616, 2015. doi: [10.1007/s12034-015-0900-5](https://doi.org/10.1007/s12034-015-0900-5)
- [20] G. Wiranto, S. Widodo, I. D. P. Hermida, R. V. Manurung, G. Sugandi, and Z. Arifin, "Design and fabrication of thick film dissolved oxygen sensor based on RuO_2 working electrodes for water quality monitoring," *Materials Science Forum*, vol. 917, pp. 59–63, 2018. doi: [10.4028/www.scientific.net/MSF.917.59](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.917.59)
- [21] A. Debatara and R. V. Manurung, "Mikrotransduser deteksi kadar oksigen terlarut aplikasi monitoring kualitas air," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 2, no. 2, pp. 73–78, 2011.
- [22] G. W. McLaughlin, K. Braden, B. Franc and G. T.A. Kovacs, "Microfabricated solid-state dissolved oxygen sensor," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 83, no. 1-3, pp. 138-148, 2002. doi: [10.1016/S0925-4005\(02\)00021-7](https://doi.org/10.1016/S0925-4005(02)00021-7)
- [23] C.-C. Lu, Y.-S. Huang, J.-W. Huang, C.-K. Chang, and S.-P. Wu, "A Macroporous TiO_2 oxygen sensor fabricated using anodic aluminium oxide as an etching mask," *Sensors*, vol. 10, no. 1, pp. 670–683, 2010. doi: [10.3390/s100100670](https://doi.org/10.3390/s100100670)



©2021. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).