

Rancang Bangun Sistem Pengendali Kadar Oksigen Terlarut dengan Algoritma Fuzzy Logic Controller pada Budidaya Akuaponik

Alberto Riolly Cahyantara dan Hendra Cordova

Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail : hcordova@ep.its.ac.id

Abstrak—Dalam budidaya akuaponik, kadar oksigen terlarut sangatlah penting karena mempengaruhi laju pertumbuhan ikan dan tanaman. Untuk menjaga kadar oksigen pada standar baku mutu air (set point), maka laju aerasi harus dimanipulasi dengan mengatur kerja pompa aerator. Langkah awal adalah dengan mengetahui karakteristik pompa aerator terhadap peningkatan kadar oksigen terlarut pada akuaponik. Selanjutnya algoritma *fuzzy logic controller* dibuat dan digunakan untuk menentukan variabel manipulasi dari pompa aerator pada akuaponik. Dengan menggunakan algoritma *Fuzzy Logic Controller*, kontrol kadar oksigen terlarut dapat dikontrol dan didapatkan nilai *maximum overshoot* 1.27%, *rise time* 211 detik, *settling time* 575 detik, *ess* 0.07 mg/L. *Fuzzy Logic Controller* mampu mengatasi gangguan dan mengikuti perubahan *set point* yang diberikan. Dengan kontrol kadar oksigen terlarut pada akuaponik, terjadi kenaikan laju pertumbuhan ikan sebesar 0.21 gr dan peningkatan tinggi tanaman sebesar 1.2 cm selama 10 hari pengamatan.

Kata kunci—Oksigen terlarut (DO), *fuzzy logic controller* (FLC), akuaponik, laju pertumbuhan.

I. PENDAHULUAN

PERMASALAHAN yang dihadapi dunia saat ini adalah meningkatnya populasi manusia yang berakibat pada tingginya kebutuhan pangan. Untuk mencukupi kebutuhan pangan tersebut, telah dilakukan intensifikasi produksi pangan. Intensifikasi produksi berarti mengeksploitasi tanah dan air secara berlebihan yang berakibat pada degradasi tanah dan kelangkaan air [1]. Untuk menghadapi permasalahan ini, dibutuhkan proses produksi pangan yang berkelanjutan dan meminimalisir efek negatif pada lingkungan.

Permasalahan tersebut diatasi dengan menggunakan *recirculating aquaculture system* (RAS) yang mampu mengurangi 90% penggunaan air dan mengurangi limbah yang dibuang ke lingkungan [2]. Akuaponik konvensional atau disebut *single recirculating aquaponic system* (SRAPS) merupakan sistem yang sangat kompleks. Hal ini dikarenakan tiga organisme yaitu ikan, tanaman, dan bakteri nitrifikasi digabungkan dalam satu sistem. Sedangkan masing-masing organisme membutuhkan kondisi kualitas air yang berbeda-beda supaya pertumbuhannya/ fungsinya optimal seperti kestabilan pH air, kesetimbangan nutrisi, kandungan fosfor, dan pengendalian hama [3]. Kadar oksigen terlarut (DO) juga

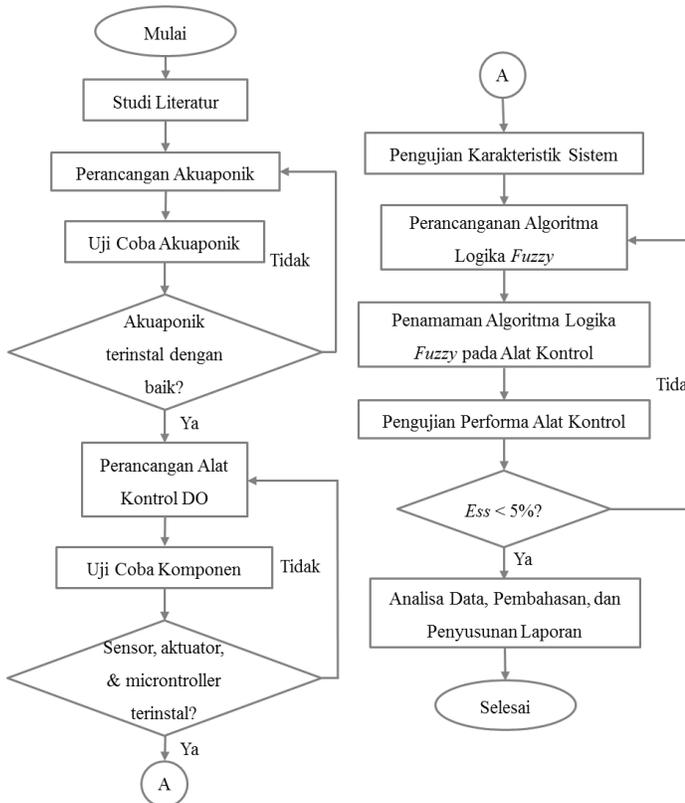
menjadi salah satu variabel yang menjadi faktor yang mempengaruhi hasil produksi ikan dan sayuran serta kinerja dari bakteri nitrifikasi dalam melakukan penguraian.

Pada budidaya ikan, contohnya ikan nila, perubahan berat akhir secara signifikan terjadi dengan menaikkan konsentrasi oksigen terlarut [4]. Pada kondisi *hypoxia* atau kadar oksigen kurang (3.5 mg/l) kemampuan ikan mencerna nutrisi menurun drastis [5]. Dalam budidaya udang vaname, kenaikan kadar oksigen terlarut dalam kolam meningkatkan tingkat kelulushidupan dan keuntungan yang diperoleh [6]. Pada sisi tanaman hidroponik, kekurangan oksigen pada akar tanaman akan menyebabkan pertumbuhan akar dan tanaman menjadi buruk serta meningkatnya resiko terkena penyakit dan sebaliknya [7]. Laju pertumbuhan, berat akar, bentuk akar, luas daun, laju konsumsi air, dan hasil panen menurun dengan kadar oksigen yang rendah pada larutan nutrisi [8].

Sistem kendali kadar oksigen terlarut banyak dipakai pada instalasi pengolahan air limbah industri untuk mengoptimalkan proses nitrifikasi oleh bakteri. Metode kontrol yang sering digunakan dalam sistem kontrol kadar oksigen terlarut pada pengolahan air limbah adalah *fuzzy*. Karena karakteristik dinamik kadar oksigen terlarut tidak linear dan dipengaruhi oleh banyak *disturbance* seperti temperatur [9].

II. METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah dalam pengerjaan Studi ini digambarkan dalam diagram alir seperti pada Gambar 1. Adapun metodologi penelitian pada Studi ini, antara lain:



Gambar 1. Diagram alir penelitian

A. Perancangan Akuaponik

Desain akuaponik terbagi menjadi dua bagian, yaitu kolam untuk media pertumbuhan ikan di bagian bawah dan tempat media tanam serta satu ember tambahan sebagai *sump tank* yang berfungsi supaya air pada kolam ikan tidak naik turun. Ukuran kolam ikan adalah 63 x 63 x 50 cm dengan atau setara dengan 225 liter air. Dimensi media tanam adalah 105 x 70 x 16 cm atau setara dengan 110 liter, dimana 30% atau 35 liter adalah air dan 75 liter merupakan media tanam berupa pasir malang (pasir hitam dengan butiran yang besar). Pasir malang dipilih karena memiliki *specific surface area* yang besar yaitu 280 m²/m³ yang bagus untuk perkembangan bakteri pengurai. Ukurannya cukup besar sehingga air bisa mengalir dengan lancar. *Sump tank* yang digunakan memiliki volume 40 liter. Akuaponik akan diisi dengan 32 ikan nila dan 35 sayur sawi.



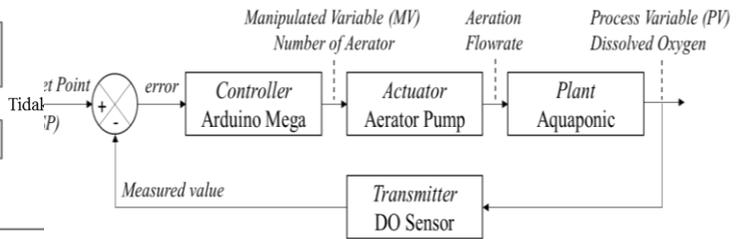
Gambar 2. Desain Kolam Akuaponik

Sirkulasi air pada akuaponik adalah *ebb and flow* atau pasang surut, yaitu air akan dipompa dari *sump tank* menuju ke media tanam. Setelah media tanam terisi penuh oleh air pada batas yang ditentukan, *bell siphon* yang ada di tengah akan

menghisap air pada media tanam hingga air pada media tanam hampir kosong. Kemudian pengisian akan terjadi lagi dan terus berulang pasang surut.

B. Perancangan Sistem Kontrol DO

Sistem kontrol DO mulai bekerja dengan melakukan pengukuran (measured value) dari variabel proses (PV) yang ingin dikendalikan yaitu oksigen terlarut dengan menggunakan sensor DO galvanik.

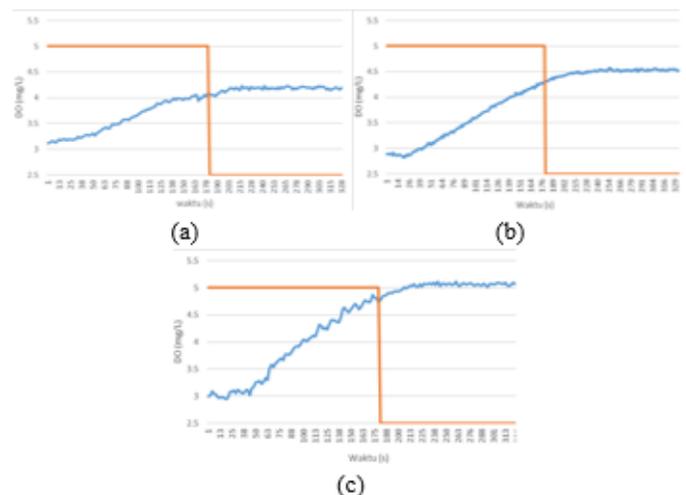


Gambar 3. Diagram Blok Sistem Pengendalian Kadar DO

Nilai pengukuran akan dibandingkan dengan setpoint (SP) yaitu nilai DO yang diinginkan, sehingga akan diketahui nilai *error* atau kesalahannya. Kesalahan akan masuk ke *controller* sebagai *input* dan kemudian diproses untuk menghasilkan sinyal perintah berupa variabel manipulasi (MV) ke aktuator yaitu pompa aerator. MV berupa berapa banyak pompa yang harus dinyalakan, dimana keputusan tersebut diambil dengan menggunakan algoritma *fuzzy logic controller*. Berapa banyaknya pompa berarti berapa banyak laju aliran (flowrate) oksigen yang diinjeksikan ke air. Dengan demikian proses variabel, kadar oksigen terlarut akan terus terkoreksi dan terjaga pada nilai *setpoint* yang diinginkan.

C. Pengujian Karakteristik Sistem

Karakteristik sistem dilakukan dengan eksperimen atau percobaan. Percobaan dilakukan dengan memanipulasi pompa aerator dengan berbagai kondisi. Grafik perubahan DO pada akuaponik yang dipengaruhi oleh pompa aerator kemud



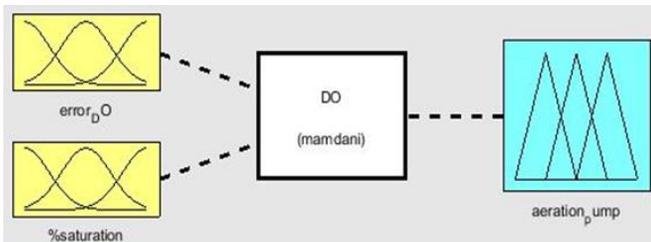
Gambar 4. Respon Perubahan DO dengan Menyalakan (a) 1 Pompa, (b) 2 Pompa, dan (c) 3 Pompa Selama 3 Menit.

D. Perancangan Algoritma Fuzzy

Penelitian ini menggunakan logika *fuzzy* dengan metode Mamdani karena membutuhkan kesimpulan (consequent) dan fungsi keanggotaan keluaran berupa *fuzzy sets* yang memiliki

range nilai pada tiap fungsi keanggotaannya. Terdapat 3 tahapan perancangan logika fuzzy yaitu fuzzifikasi, fuzzy inference engine, dan defuzzifikasi.

Fuzzy inference system untuk sistem pengendali kadar oksigen terlarut terdiri dari dua masukan dan satu keluaran. Variabel yang menjadi masukan FIS adalah error DO (selisih antara nilai DO terukur dengan set point) dan % saturasi (berapa nilai kadar DO terukur dibandingkan nilai jenuhnya, pada suhu tertentu). Dari kedua variabel tersebut, FIS akan menghasilkan sebuah keluaran berupa jumlah pompa aerator yang dinyalakan untuk meningkatkan kadar oksigen. FIS sistem pengendali DO ditunjukkan oleh Gambar 5.

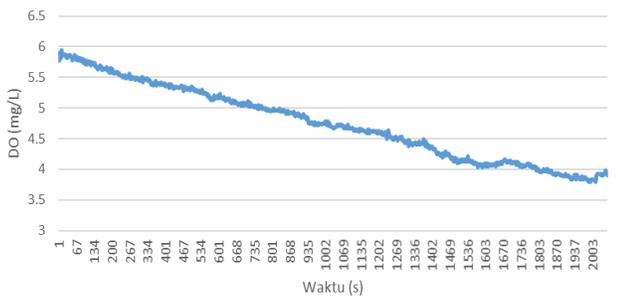


Gambar 5. FIS Sistem Pengendali DO

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

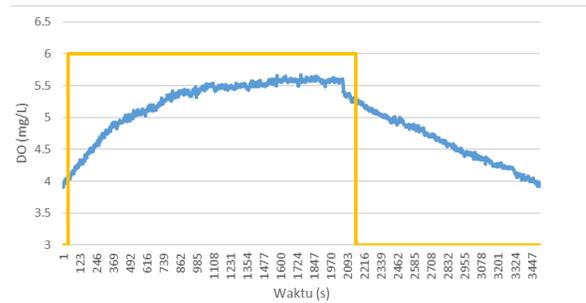
A. Uji Open Loop

Penurunan kadar oksigen dalam air diukur sebagai fungsi waktu. Dapat diamati bahwa penurunan terjadi mulai dari 5.9 mg/L menjadi 3.9 mg/L selama 2060 detik. Sehingga dapat diperkirakan bahwa satu ikan nila berumur 3 bulan memiliki laju konsumsi kadar oksigen sebesar 0.728×10^{-3} mg/L/menit untuk beraktifitas. Supaya penurunan kadar oksigen terlarut tersebut bisa kembali naik, dibutuhkan adanya sistem kontrol menggunakan aerator untuk mensuplai oksigen dalam air.



Gambar 6. Perubahan EC disebabkan oleh ikan

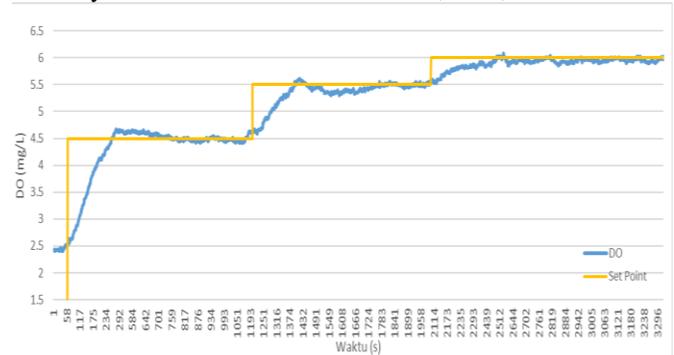
Setelah terjadi penurunan ikan, maka diberi perlakuan berupa dinyalakan 1 pompa sampai mencapai steady state dan dimatikan kembali seperti terlihat pada Gambar 6. Dengan menggunakan 1 pompa. Kadar oksigen dalam air mampu naik dari 3.9 mg/L menjadi 5.5 mg/L selama 20 menit. Dan ketika pompa dimatikan DO akan turun kembali karena digunakan oleh ikan.



Gambar 7. Perubahan DO disebabkan oleh pompa aerator

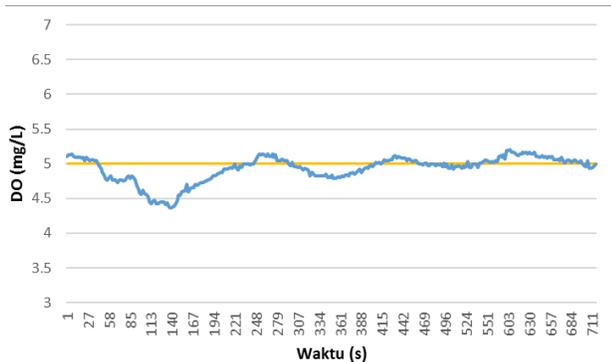
B. Uji Closed Loop

Pengujian closed loop dilakukan dengan merubah setpoint DO (tracking setpoint) dan dengan memberikan disturbance pada air kolam berupa air dengan kadar dissolved oksigen rendah yaitu air bekas ikan sebesar 10 L, 20 L, dan 30 L.



Gambar 8. Tracking set point DO dari 4.5 mg/L menuju 5,5 mg/L, menuju 6 mg/L

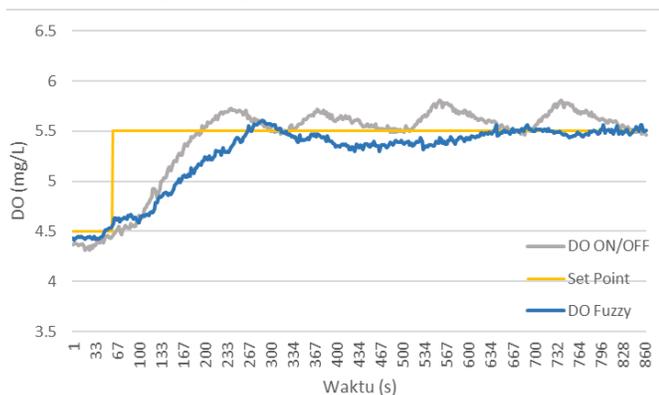
Pengujian sistem kontrol dimulai dengan dengan air akuaponik yang steady pada kadar oksigen 2,5 mg/L. Saat sistem kontrol dijalankan di menit pertama, dengan set point 4,5 mg/L, DO bergerak naik mengikuti setpoint yang diberikan. Pada menit ke 5, setpoint mampu dicapai dengan overshoot sebesar 3,5 %. Setelah 12 menit, DO mencapai steady state. Kemudian set point dinaikkan lagi menjadi 5,5 mg/L. DO kemudian mampu mengikuti perubahan setpoint yang diberikan. Nilai overshoot didapatkan kecil yaitu 2,8% dengan rise time 174 detik. Ess juga sangat kecil sebesar 0,05 mg/L yang dicapai pada menit ke 9,6. Perubahan setpoint kembali dilakukan menuju 6 mg/L. Pada set point 6 mg/L, sistem kontrol cukup kesulitan mencapai set point. Hal ini dikarenakan % saturasi dari DO sudah diatas 75% yang artinya cukup sulit untuk menambahkan oksigen ke dalam air. Didapatkan setting time sebesar 10 menit. Namun ketika sudah mencapai steady state, maka ess cukup kecil yaitu 0.15 mg/L. Secara keseluruhan sistem dalam mengikuti perubahan set point yang diberikan dengan performa yang cukup baik.



Gambar 9. Respon DO terhadap disturbance 10 L

Berdasarkan hasil uji dengan gangguan, dapat dilihat bahwa DO yang turun sampai 4.4 mg/L mampu naik pada set point 5 mg/L kembali dengan adanya osilasi. Hal ini dikarenakan karakteristik oksigen yang memerlukan waktu untuk terdifusi. Di menit ke 8, oksigen sudah cukup stabil. Dengan demikian performa sistem kontrol cukup baik. Performa sistem kontrol sebagai berikut *settling time* (t_s) = 524 detik, *error steady state* (ess) = 0.12 mg/L, *maksimum overshoot* = 3.8%. Setelah mencapai *steady state*, rata-rata *error DO* adalah 0.11 mg/L, dimana masih dibawah dalam batas toleransi yaitu 5%.

C. Perbandingan dengan Kontrol On/off



Gambar 10. Perbandingan respon DO dengan fuzzy dan on/off (4 pompa)

Perbandingan menunjukkan bahwa respon DO dengan control on/off mengalami osilasi walaupun memiliki *rise time* yang lebih cepat. On/off juga memiliki overshoot yang lebih tinggi yaitu 4,54%. Sedangkan kontrol fuzzy memiliki respon yang baik dengan nilai *settling time* sebesar 574 s, *maximum overshoot* 1,27%, dan *error steady state* 1%.

D. Laju Pertumbuhan Akuaponik

Untuk mengetahui pengaruh penggunaan sistem kontrol, dilakukan pengukuran terhadap pertumbuhan ikan dan tanaman. Pengukuran dilakukan selama selang waktu 10 hari dengan paramater pertambahan berat ikan dan pertambahan tinggi tanaman.

Dari Tabel 3.1, untuk DO yang dikendalikan terjadi peningkatan berat ikan sebesar 2.1 gr atau 2.9% dibandingkan dengan DO yang tidak dikendalikan per 10 ekor selama 10 hari. Dari Tabel 3.2, untuk DO yang dikendalikan, didapatkan pertambahan tinggi tanaman rata-rata sebesar 1,2 cm dibandingkan dengan DO yang tidak dikendalikan atau naik 11% .

Tabel 1. Perbandingan Laju Pertumbuhan Ikan

Sample Ikan	Panjang Tubuh (cm)			
	Dikendalikan		Tidak Dikendalikan	
	Hari ke-1	Hari ke-10	Hari ke-1	Hari ke-10
1	7.3	8.1	6.8	7.1
2	7.2	7.8	7.3	7.7
3	7.1	7.6	7.4	7.9
4	7.2	7.7	7.4	7.9
5	7.2	8.0	7.1	7.6
6	7.1	7.6	6.9	7.4
7	7.3	8.1	7.0	7.4
8	7.3	8.1	7.2	7.6
9	6.8	7.6	6.9	7.3
10	6.9	7.5	6.9	7.3
Total (gr)	71.4	78.1	70.9	75.2
Perubahan (gr)		6.7		4.3
Rata-rata (gr)		0.67		0.43

Tabel 2. Perbandingan Laju Pertumbuhan Ikan

Sample Tanaman	Tinggi Tanaman (cm)					
	Dikendalikan			Tidak Dikendalikan		
	Hari ke-1	Hari ke-10	Perubahan	Hari ke-1	Hari ke-10	Perubahan
1	9.90	11.43	1.53	9.99	11.28	1.29
2	10.11	12.15	2.04	10.26	11.19	0.93
3	9.87	12.24	2.37	9.84	11.04	1.20
4	10.20	12.93	2.73	9.87	10.80	0.93
5	10.01	12.675	2.67	10.23	11.28	1.05
		Rata-rata	2.3		Rata-rata	1.1
		/hari	0.2268		/hari	0.108

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data yang telah dilakukan, kesimpulan dari studi ini adalah sebagai berikut:

- Sistem kontrol kadar oksigen terlarut menggunakan kontrol logika fuzzy, berhasil mengendalikan kadar oksigen terlarut pada perubahan *setpoint* yang diberikan dan mengatasi gangguan dengan baik dengan performansi berupa *overshoot* maksimum 1.27%, *rise time* 211 detik, *settling time* 574 detik, *ess* 0.07 mg/ L atau 1%.
- Penggunaan sistem pengendali kadar oksigen terlarut pada akuaponik berhasil meningkatkan laju pertumbuhan ikan 2.1 gram per sepuluh ekor dan peningkatan tinggi tanaman rata-rata 1.2 cm selama jangka waktu 10 hari.

DAFTAR PUSTAKA

[1] F. and A. O. of the U. Nations, *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture*. London: Earthscan, 2011.

[2] S. T. S. dan B. J. V. M. B. Timmons, J. M. Ebeling, F. W. Wheaton, *Recirculating aquaculture*. 2007.

[3] U. M. dan K. V. R. S. Goddek, B. Delaide, "Challenges of Sustainable and Commercial Aquaponics," *Sustainability*, vol. 7, pp. 4199-4224, 2015.

[4] S. E. P. dan G. Tziha, "Blue tilapia (*Oreochromis aureus*) growth rate in relation to dissolved oxygen concentration under recirculated water conditions," *Aquac. Eng.*, vol. 15, no. 3, pp. 181-192, 1996.

- [5] J. W. S. dan J. A. V. K. T. Tran-Ngoc, N. T. Dinh, T. H. Nguyen, A. J. Roem, "Interaction between dissolved oxygen concentration and diet composition on growth, digestibility and intestinal health of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)," *Aquaculture*, vol. 462, pp. 101–108, 2016.
- [6] D. B. R. dan C. E. B. W. McGraw, D. R. Teichert-Coddington, "Higher minimum dissolved oxygen concentrations increase penaeid shrimp yields in earthen ponds," *Aquaculture*, vol. 199, pp. 311–321, 2001.
- [7] Y. T. dan R. R. B. M. Cherif, "Effect of oxygen concentration on plant growth, lipidperoxidation, and receptivity of tomato roots to *Pythium F* under hydroponic conditions," *Eur. J. Plant Pathol.*, vol. 103, no. 3, pp. 255–264, 1997.
- [8] H. R. G. dan R. J. Kempton, "The oxygen content of flowing nutrient solutions used for cucumber and tomato culture," *cientia Hortic.*, vol. 20, pp. 23–33, 1997.
- [9] I. S. dan N. Mozes, "A note on oxygen supply in RAS: The effect of water temperature," *Aquac. Eng.*, vol. 50, pp. 45–54, 2012.