

# Kinerja Unit dan Isoterm Adsorpsi Filtrasi Multimedia pada Sistem Resirkulasi Akuakultur Ikan Hias Berdasarkan Variasi Ketebalan Media dan Debit Aliran

Tarissa Kristina, Teuku Devan Assiddiqi, Budi Indra Setiawan, Chusnul Arif, Allen Kurniawan\*

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Gedung FATETA, Kampus IPB Dramaga, Bogor, Jawa Barat, 16680.

\*email: allenkurniawan@apps.ipb.ac.id

## ABSTRAK

Limbah cair akuakultur memiliki kandungan bahan organik dan anorganik, seperti amonia dan nitrit, yang dapat menyebabkan pencemaran di badan air. Teknologi sistem resirkulasi akuakultur (RAS) dapat memberikan alternatif dengan memanfaatkan sumber daya air terbatas untuk mereduksi kontaminan organik air limbah akuakultur. Penelitian ini menggunakan kombinasi unit filter multimedia (FMM), filter karbon aktif (KA), dan nano membran (NF). Tujuan penelitian ini dirancang untuk menguji kinerja FMM, menentukan ketebalan media filter optimal, serta menentukan estimasi model isoterm adsorpsi sebagai penunjang aspek desain FMM. Enam kombinasi variasi ketebalan media zeolit (30, 60, 90 cm) dan debit aliran (22,5; 45 L/menit) digunakan untuk menguji kinerja unit. Penyisihan amonia dan nitrit berturut-turut sebesar 99,85% dan 100% lebih efektif terjadi pada ketebalan zeolit sebesar 90 cm dan debit 45 L/menit. Terkait beban biaya operasional FMM, efisiensi kedua parameter tersebut tidak diperlukan hingga mencapai optimal apabila dintegrasikan dengan unit CA dan NF. Berdasarkan analisis pemodelan isoterm adsorpsi, Model Langmuir ( $K_L = 90,18$  L/mg) untuk nitrit, serta Temkin ( $K_T = 15,68$  L/mg) dan Hasely ( $K = 0,45$  L/mg) untuk amonia merupakan model terbaik untuk mengestimasi koefisien kapasitas adsorpsi. Nilai tersebut dapat digunakan untuk memprediksi konsentrasi nitrit dan amonia di efluen berdasarkan uji perfoma model dan analisis statistik.

**Kata kunci:** amonia, filter multimedia, isoterm adsorpsi, nitrit, sistem resirkulasi akuakultur.

## ABSTRACT

Aquaculture wastewater contains ammonia, nitrite, and other materials which can contribute to water pollution. Recirculation aquaculture system (RAS) technology offers an alternative approach by utilizing limited water resources to reduce organic contaminants. This research aimed to evaluate the performance of a multimedia filter (FMM), activated carbon filter (KA), and nano-membrane (NF) combination. The study focused on assessing FMM efficiency, determining the optimal filter media thickness, and selecting the appropriate adsorption isotherm model for FMM design. Six combinations of zeolite media thickness (30, 60, 90 cm) and flowrates (22.5; 45 L/min) were tested. The results showed that the highest removal efficiencies for ammonia (99.85%) and nitrite (100%) were achieved with a zeolite thickness of 90 cm and a flow rate of 45 L/min. Integrating FMM with CA and NF units can reduce operational costs without compromising efficiency. The Langmuir model ( $K_L = 90.18$  L/mg) for nitrite, and the Temkin ( $K_T = 15.68$  L/mg) and Hasely ( $K = 0.45$  L/mg) models for ammonia were identified as the best fit models for estimating adsorption capacity coefficients. These coefficients can be used to predict nitrite and ammonia concentrations in the effluent based on performance testing and statistical analysis.

**Keywords:** adsorption isotherm, ammonia, multimedia filter, nitrite, recirculating aquaculture system.

**Citation:** Kristina, T., Assiddiqi, T.D., Setiawan, B.I., Arif, C., Kurniawan, A. (2023). Kinerja Unit dan Isoterm Adsorpsi Filtrasi Multimedia pada Sistem Resirkulasi Akuakultur Ikan Hias Berdasarkan Variasi Ketebalan Media dan Debit Aliran. Jurnal Ilmu Lingkungan, 21(4), 933-945, doi:10.14710/jil.23.4.933-945

## 1. Latar Belakang

Limbah sektor budi daya akuakultur, khususnya perikanan, mengandung unsur hara dan bahan

organik tersuspensi yang tinggi. Parameter kontaminan terukur, seperti kesadahan total, total padatan terlarut, *total suspended solid* (TSS), *chemical*

oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand (BOD), dissolved oxygen (DO), fosfat, nitrit, nitrat, dan amonia, dapat terkandung di dalam limbah hasil budi daya akuakultur sehingga mencemari badan air apabila melebihi baku mutu (Sulistiyarto dan Restu 2017). Sumber utama limbah akuakultur berasal dari feses dan pakan buatan untuk peningkatan produksi budi daya. Pakan yang tidak termakan pada budi daya perikanan sekitar 1-5 % pakan kering, 5-10 % pakan lembap, dan 10-30 % pakan basah. Feses padat dihasilkan sebesar 45% dari biomassa produksi ikan. Kandungan kimia dari limbah budi daya ikan mengandung 3,07-5,23% nitrogen, 2,20-3,95% fosfor, 0,30% potasium, dan 33,7-46,8 % karbon organik (Cescon dan Jiang 2020).

Prinsip penggunaan air konvensional pada budi daya perikanan akan menyebabkan pemborosan air bersih ketika air tersebut langsung dibuang ke lingkungan. Sistem resirkulasi akuakultur atau *recirculating aquaculture system* (RAS) merupakan alternatif teknologi yang dapat membantu untuk mengatasi permasalahan ketersediaan air tersebut (Dediu *et al.* 2012). Resirkulasi air menjadi salah satu opsi terbaik untuk meminimalisasi volume kebutuhan air bersih, terutama untuk budi daya ikan hias. Beraneka ragam jenis ikan hias membutuhkan kualitas air terbaik sebagai media pembenihan dan pertumbuhan dengan dukungan variabel operasional dan kondisi eksternal lingkungan. Resirkulasi air untuk ikan hias ini salah satunya dapat diterapkan pada budi daya ikan koi (*Cyprinus carpio*). Kebutuhan air ikan koi bervariasi sebesar 4 L/ekor untuk ukuran panjang 8-12 cm dan akan bertambah dua kali lipat untuk ukuran lebih dari 12 cm.

Rancangan RAS dapat mengombinasikan berbagai unit pengolahan. Kombinasi dalam unit pengolahan ini dapat berupa penggunaan media filter. Sistem RAS pada penelitian ini dirancang menggunakan unit filtrasi multimedia (FMM), karbon aktif (KA), dan nano membran (NF). Walaupun NF membutuhkan biaya konfigurasi yang tinggi, kombinasi ketiga unit tersebut memberikan keuntungan kesederhanaan operasional, kehandalan teknologi secara fisik tanpa melibatkan proses biologis, konsumsi energi rendah, tingkat stabilitas kinerja dan kontrol yang baik, serta peningkatan sifat kompatibilitas terhadap lingkungan.

Peran dari media filtrasi pada FMM di dalam konfigurasi RAS mendukung proses penyisihan kontaminan dan mengurangi beban *fouling* pada NF. Pada prinsipnya, teknologi FMM merupakan proses separasi padatan dan fluida melalui media berpori (Ghanim dan Ajjam 2013). Penggunaan FMM di awal unit konfigurasi RAS memberikan kemampuan di dalam penyaringan kontaminan yang cukup efektif secara fisika maupun kimia. Sistem FMM dapat mereduksi bakteri, bau, mangan, warna, besi, dan rasa. Selain itu, FMM dan karbon aktif sebagai unit pra-pengolahan memberikan keuntungan berupa bahan media mudah dicari, pengoperasian relatif sederhana, serta kemampuan untuk mereduksi zat

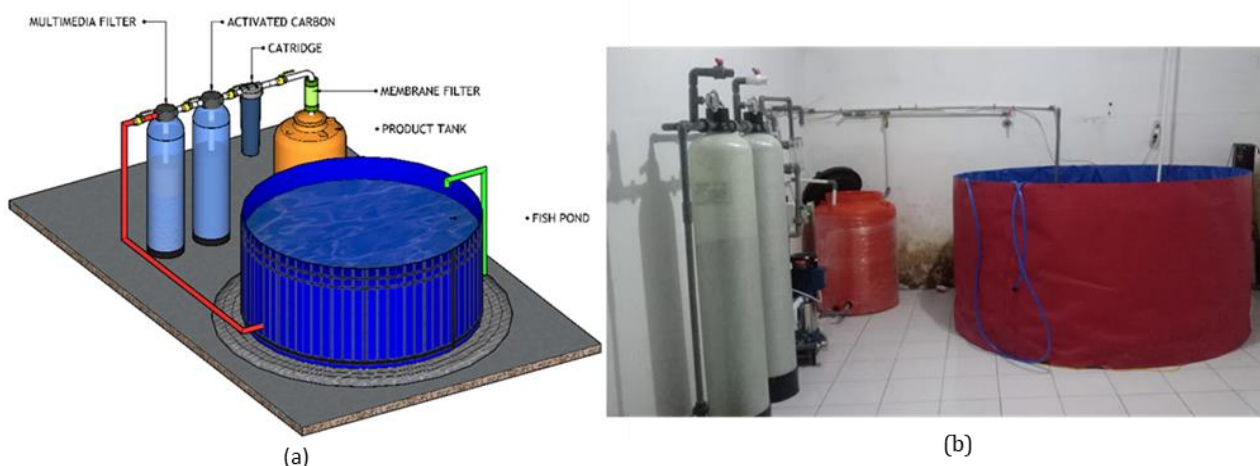
padat halus tersuspensi dan koloid (Amelia 2018). Berbagai macam jenis media di dalam FMM digunakan untuk dapat mereduksi parameter fisika maupun kimia, antara lain kerikil, karbon aktif, zeolit, pasir silika, mangan, antrasit, dan resin pertukaran ion. Kerikil, zeolit, dan pasir pantai digunakan sebagai media FMM pada penelitian ini berdasarkan nilai ekonomi terbaik dibandingkan media lain.

Pada unit FMM, ketebalan media zeolit akan divariasikan karena bersifat adsorben sebagai pendukung media kerikil dan pasir pantai untuk penyisihan kontaminan fisik pada proses resirkulasi air limbah akuakultur. Fenomena adsorbat berpindah menuju media filtrasi sebagai adsorben didefinisikan sebagai proses adsorpsi. Mekanisme adsorpsi sebagian besar berupa proses adsorpsi kimia, terkait dengan pembentukan ikatan kimia, proses adsorpsi fisik terkait dengan gaya Van der Waals, dan proses pertukaran ion (Wang dan Guo 2020). Pengetahuan tentang mekanisme adsorpsi merupakan hal terpenting di dalam mendesain kebutuhan adsorbat dan adsorben di dalam sistem adsorpsi.

Kesetimbangan adsorpsi merupakan salah satu informasi terpenting di dalam memahami mekanisme proses adsorpsi pada media cairan dan permukaan membran. Informasi ini digunakan untuk mempelajari kinetika adsorpsi di dalam sistem tunggal dan sistem multikomponen. Hubungan kuantitas adsorbat terhadap adsorben pada konsentrasi kesetimbangan zat terlarut dan temperatur relatif konstan direpresentasikan sebagai isoterm adsorpsi (Rajahmundry *et al.* 2021). Isoterm adsorpsi dikembangkan melalui analisis model ketika adsorbat pada permukaan media didesain sebagai fungsi dari beberapa variasi konsentrasi larutan dengan data hasil mewakili sistem kesetimbangan yang dinamis dan terpisah secara termodinamika antara jumlah adsorbat yang teradsorpsi pada permukaan dan tertinggal pada larutan (Latour 2015). Melalui simulasi pemodelan isoterm adsorpsi, mekanisme proses adsorpsi dapat diketahui sehingga dapat digunakan di dalam penentuan desain efektif unit FMM pada konfigurasi RAS. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk menguji kinerja unit FMM berdasarkan analisis kualitas air, menentukan ketebalan media FMM optimal berdasarkan hasil efisiensi terbesar dari parameter nitrit dan amonia, serta menentukan model isoterm adsorpsi terbaik terhadap variasi ketebalan media dan debit.

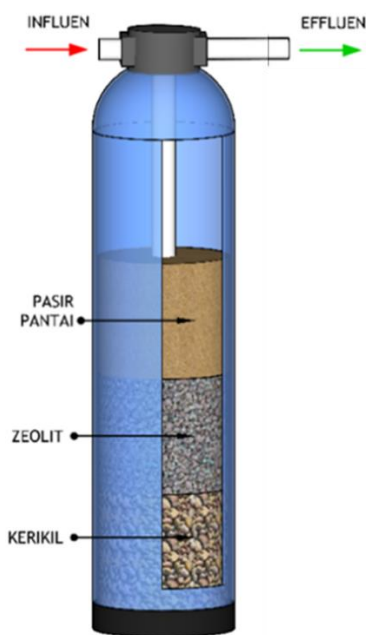
## 2. Metodologi

Reaktor RAS dirancang dengan rangkaian unit FMM, KA, *cartridge*, NF, kolam produk air olahan (*buffer tank*), dan kolam perlakuan (*fish pond*) berupa kolam ikan hias dengan kemampuan resirkulasi (Gambar 1). FMM sebagai kajian utama penelitian ini diletakkan sebagai unit awal pra-pengolahan awal sebelum KA untuk menerima air dari kolam perlakuan pada proses resirkulasi air (Gambar 2). Unit ini berupa tabung yang dilengkapi dengan kerikil, zeolit, dan pasir pantai. Air limbah sebagai media analisis



**Gambar 1** Unit konfigurasi RAS: (a) Ilustrasi desain, dan (b) kondisi aktual

utama diperoleh dari sisa pakan dan feses ikan koi pada kolam perlakuan. Penelitian ini dilakukan menjadi tiga tahap, yaitu (1) tahap desain unit konfigurasi RAS, (2) tahap pemantauan kinerja reaktor, dan (3) tahap pemodelan isoterm adsorpsi.



**Gambar 2** Susunan media filtrasi (adsorben) pada FMM

Tahap desain unit konfigurasi RAS mencakup pembuatan reaktor skala laboratorium, dengan fokus perencanaan untuk unit FMM, KA, NF, dan kolam perlakuan. Unit FMM didesain dengan tiga variasi ketebalan zeolit sebesar 30 cm, 60 cm, dan 90 cm, sedangkan ketebalan media kerikil dan pasir pantai berturut-turut sebesar 30 cm (Tabel 1). Unit KA memiliki tiga lapisan media, yaitu kerikil di dasar unit, zeolit, dan karbon aktif sebagai media teratas dengan ketebalan masing-masing sebesar 30 cm. Unit NF menggunakan jenis tabung berbahan poliamida dengan jenis membran NF90-4040 DOW Filmtech, tekanan sebesar 4,8 bar; luas area efektif membran

sebesar 7,6 m<sup>2</sup>, serta debit efluen (*permeate*) sebesar 7,6 m<sup>3</sup>/hari. Unit tambahan berupa kolam produk air olahan berupa toren dengan kapasitas 250 L dan kolam perlakuan dengan kapasitas 800 L. Kolam perlakuan diisi ikan koi sebanyak 100 ekor dan diberikan pakan satu kali sehari sebanyak 300 g. *Cartridge* benang ukuran 20 inci digunakan untuk menyaring kotoran seperti lumpur dan pasir pada air sehingga tidak merusak pompa.

**Tabel 1** Variasi data kerja reaktor

No. variasi	Deskripsi variasi
V1	Debit 45 L/menit, ketebalan zeolit 30 cm
V2	Debit 22,5 L/menit, ketebalan zeolit 30 cm
V3	Debit 45 L/menit, ketebalan zeolit 60 cm
V4	Debit 22,5 L/menit, ketebalan zeolit 60 cm
V5	Debit 45 L/menit, ketebalan zeolit 90 cm
V6	Debit 22,5 L/menit, ketebalan zeolit 90 cm

Tahap pemantauan kinerja reaktor mencakup pengoperasian unit konfigurasi dan analisis kualitas air. Pelaksanaan pemantauan unit dilaksanakan antara bulan Maret hingga Juni 2022 di Laboratorium Teknik Sumber Daya Air, Wisma Wageningen, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Kampus IPB Dramaga, Jawa Barat, sedangkan uji parameter kualitas air dilakukan di Laboratorium Kualitas Air, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Kampus IPB Dramaga. Analisis kualitas air mencakup alkalinitas, pH, temperatur, *total suspended solid* (TSS), amonia, serta nitrit (NO<sub>2</sub>). Penggunaan bahan kimia tercakup di dalam prosedur analisis yang tertera pada SNI 6989.06:2005 tentang *Cara Uji Kadar Amonia dengan Spektrofotometer Secara Fenat*, SNI 6989.3:2019 tentang *Cara Uji Padatan Tersuspensi Total (Total Suspended Solid/TSS) Secara Gravimetri*, SNI 6989.9:2004 tentang *Cara Uji Nitrit Secara Spektrofotometri*, dan SNI 2422.6:1991 tentang *Pengujian Keasaman dalam Air Titrimetri*. Pengambilan sampel pengujian kualitas air dilakukan pada titik influen FMM, efluen FMM (influen KA),

efluen KA (influen NF), efluén NF, dan sumber air baku pada kolam produk air olahan. Pengambilan sampel dilakukan satu kali dalam sehari dan masing-masing variasi dijalankan selama lima hari. Enam variasi operasional berdasarkan ketebalan media zeolit dijalankan selama tujuh hari dengan laju debit sebesar 45 L/menit dan 22,5 L/menit pada setiap variasi (Tabel 1). Kedua variasi debit aliran ini dipilih karena daya toleransi pompa suplai untuk menahan tekanan. Setiap pergantian variasi, bak perlakuan ditingkatkan tanpa menjalankan sistem resirkulasi selama estimasi lima (5) hari hingga diperoleh kondisi awal kualitas air yang sama untuk setiap perlakuan.

Tahap pemodelan isoterm adsorpsi mencakup analisis dan pemilihan model isoterm terbaik berdasarkan pendekatan model Langmuir, Freundlich, Temkin, dan Hasely untuk mendapatkan koefisien kapasitas adsorpsi terbaik sehingga dapat digunakan untuk mengestimasi konsentrasi efluén unit FMM. Pendekatan model berdasarkan analisis regresi linear melalui perbandingan antara konsentrasi adsorbat setimbang sebagai variabel terikat dan kapasitas kesetimbangan sebagai variabel bebas. Metode analisis isoterm adsorpsi menggunakan persamaan linear model Langmuir ditampilkan pada Persamaan (1) dan Persamaan (2).

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L} + \frac{C_e}{q_m} \tag{1}$$

$$q_e = \frac{(C_i - C_e)V}{W} \tag{2}$$

Penentuan hasil perhitungan dilakukan berdasarkan analisis regresi linier dari hubungan antara  $C_e/q_e$  terhadap  $C_e$ .  $q_e$  adalah kapasitas kesetimbangan adsorpsi (mg/g),  $V$  merupakan volume larutan (L),  $C_i$  dan  $C_e$  berturut-turut adalah konsentrasi adsorbat pada kondisi awal dan setimbang (mg/L), serta  $W$  merupakan jumlah adsorben yang digunakan (g).  $K_L$  adalah konstanta isoterm Langmuir (L/mg), dan  $q_m$  adalah kapasitas adsorpsi maksimum teoretis (mg/g). Variabel  $C_i$  dan  $K_L$  digunakan untuk mengevaluasi kesesuaian proses adsorpsi pada variabel takberdimensi  $R_L$  melalui Persamaan (3) (Ohale *et al.* 2020).

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_i} \tag{3}$$

Model isoterm Freundlich ditunjukkan pada Persamaan (4).

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \tag{4}$$

$K_F$  adalah konstanta isoterm adsorpsi (L/mg),  $1/n$  merupakan intensitas adsorpsi dan mengindikasikan distribusi energi relatif dan heterogenitas (Ayawei *et al.* 2017). Penentuan hasil perhitungan dilakukan berdasarkan analisis regresi

menggunakan grafik hubungan antara  $\log q_e$  terhadap  $\log C_e$ .

Sebagai model pembanding, model isoterm Temkin (Persamaan (5)) digunakan untuk melihat kinerja sistem adsorpsi pada permukaan heterogen (Ghanim dan Ajjam 2013).

$$q_e = B \ln K_T + B \ln C_e \tag{5}$$

$B$  adalah konstanta yang berhubungan dengan tekanan,  $K_T$  adalah konstanta isoterm Temkin pada kondisi setimbang (L/mg) sesuai dengan energi ikatan maksimum. Penentuan hasil perhitungan dilakukan berdasarkan analisis regresi dari grafik hubungan antara  $q_e$  dan  $\ln C_e$ .

Model isoterm Hasely ditunjukkan pada Persamaan (6) berikut:

$$\log q_e = \left(\frac{1}{n}\right) \ln K_H + \left(\frac{1}{n}\right) \ln C_e \tag{6}$$

$K_H$  adalah konstanta isoterm Hasely (L/mg),  $1/n$  merupakan intensitas adsorpsi dan mengindikasikan distribusi energi relatif dan heterogenitas. Penentuan nilai  $K_H$  diperoleh dari nilai  $n$  yang diperoleh dari perpotongan sumbu  $y$  (*intercept*) pada grafik hubungan antara  $\log q_e$  terhadap  $\ln C_e$ .

Validasi model ditentukan berdasarkan konsentrasi efluén prediksi ( $C_i'$ ) dan konsentrasi efluén terukur ( $C_i$ ) melalui hasil substitusi Persamaan (1)-(2) dan Persamaan (4)-(6) sehingga diperoleh Persamaan (7)-(10) pada Tabel 2.

**Tabel 2** Modifikasi model isoterm adsorpsi untuk validasi

Model isoterm	Persamaan	No. Pers.
Freundlich	$C_i' = \frac{C_e^{\frac{1}{n}}(K_F W)}{V} + C_e$	(7)
Langmuir	$C_i' = \frac{C_e q_m K_L W}{V(C_e K_L + 1)} + C_e$	(8)
Temkin	$C_i' = \frac{W \cdot B(\ln K_T + \ln C_e)}{V} + C_e$	(9)
Hasely	$C_i' = \frac{e^{(\ln C_e \times \ln 10) + (\ln K_H \times \ln 10)/n} W}{V + C_e}$	(10)

Model isoterm adsorpsi terbaik dipilih berdasarkan indikator nilai *root mean error* (RMSE) setelah analisis validasi  $C_i'$  dan  $C_i$ . Indikator ini digunakan untuk menilai kinerja suatu model berdasarkan kemampuan untuk memprediksi hasil model isoterm terhadap hasil uji simulasi. Nilai RMSE secara matematis dihitung melalui Persamaan (11). Nilai RMSE rendah menunjukkan variasi estimasi nilai dari suatu mendekati variasi nilai observasi.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(C_i' - C_i)^2}{n}} \tag{11}$$

Limitasi penelitian ini hanya difokuskan terhadap kinerja dan pemodelan isoterm adsorpsi untuk unit FMM di dalam konfigurasi RAS berdasarkan variasi ketebalan media dan debit aliran. Unit KA dan NF hanya dikaji berdasarkan kualitas air di influen dan efluen masing-masing unit. Tekanan masih dioperasikan relatif konstan untuk setiap variasi perlakuan. Temperatur operasional unit masih berdasarkan temperatur ruang sehingga masih mengikuti fluktuasi kondisi lingkungan eksternal ruangan uji.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Pengaruh Variasi Debit dan Ketebalan FMM Terhadap Kinerja RAS

##### a. Amonia

Berdasarkan kisaran konsentrasi pada Tabel 3, konsentrasi efluen amonia rata-rata pada FMM diperoleh sebesar  $0,28 \pm 0,07$  mg/L (V1);  $0,34 \pm 0,03$  mg/L (V2);  $0,48 \pm 0,08$  mg/L (V3);  $0,13 \pm 0,02$  mg/L (V4);  $0,26 \pm 0,22$  mg/L (V5), dan  $0,22 \pm 0,2$  mg/L (V6). Konsentrasi efluen amonia pada FMM umumnya menurun dari hari ke-1 sampai ke-5 pada setiap variasi ketebalan zeolit dan debit (Gambar 3). Hal ini membuktikan bahwa unit FMM tidak mengalami fase jenuh pada periode waktu operasi (Mulyadi *et al.* 2021). Efisiensi amonia optimal pada unit FMM terdapat pada variasi V5 dan V6 dengan nilai berturut-turut sebesar 99,85% dan 99,7%.

Konsentrasi efluen amonia rata-rata pada unit KA sebesar  $0,34 \pm 0,03$  mg/L (V1);  $0,65 \pm 0,1$  mg/L (V2);  $0,44 \pm 0,07$  mg/L (V3);  $0,1 \pm 0,01$  mg/L (V4);  $0,25 \pm 0,21$  mg/L (V5), dan  $0,63 \pm 0,51$  mg/L (V6). Reduksi amonia pada unit KA tidak konstan sehingga nilai konsentrasi amonia fluktuatif berdasarkan enam variasi (Gambar 3). Kondisi tersebut disebabkan oleh media karbon aktif memiliki kandungan fisikokimia cukup padat. Kandungan fisikokimia membuat media karbon aktif lebih mudah jenuh dalam proses pengikatan adsorbat (Carminati *et al.* 2016). Dengan demikian, konsentrasi amonia di efluen KA cenderung mengalami penurunan yang tidak terlalu signifikan, bahkan mengalami kenaikan pada V1, V2, dan V6 berkisar antara 18 – 65%. Selain media yang mudah jenuh, peningkatan konsentrasi amonia dapat diakibatkan oleh proses nitrifikasi.

Berdasarkan Tabel 3, konsentrasi efluen amonia rata-rata pada unit NF diperoleh sebesar  $0,26 \pm 0,09$  mg/L (V1);  $0,63 \pm 0,05$  mg/L (V2);  $0,56 \pm 0,06$  mg/L (V3);  $0,11 \pm 0,01$  mg/L (V4);  $0,26 \pm 0,22$  mg/L (V5), dan  $0,65 \pm 0,48$  mg/L (V6). Unit NF belum dapat bekerja secara optimal pada penyisihan amonia sehingga belum memenuhi standar baku mutu berdasarkan SNI 7734-2011 tentang *Ikan Hias Koi (Cyprinus carpio L.): Syarat Mutu dan Penanganan* sebesar maksimal 0,02 mg/L.

Berdasarkan hasil pengamatan, parameter amonia melalui penggunaan tebal media zeolit dan debit terbesar pada konfigurasi RAS belum dapat tereduksi secara efektif untuk meningkatkan kualitas

air akuakultur dan dapat meningkatkan pH air olahan menjadi netral (Ahmad *et al.* 2016). Konsentrasi reduksi amonia pada V1–V6 tidak dapat mencapai baku mutu walaupun persen total efisiensi reduksi cukup tinggi. Kondisi ini dapat diakibatkan terlalu singkatnya periode operasi unit pada setiap variasi sehingga belum dapat mencapai nilai standar baku mutu. Walaupun penggunaan adsorben zeolit dapat menjadi salah satu opsi media filtrasi untuk mereduksi amonia karena sifat fisik media tersebut menyediakan banyak ruang untuk adsorpsi kontaminan (Carminati *et al.* 2016), periode waktu operasi menjadi sangat krusial di dalam penentuan efektivitas proses separasi fisik-kimia air.

##### b. Nitrit

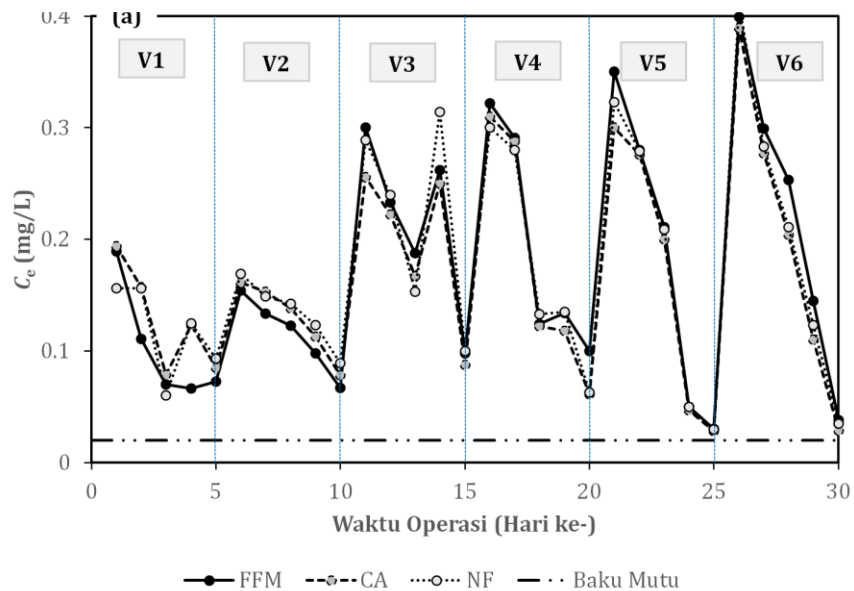
Konsentrasi efluen nitrit rata-rata pada FMM sebesar  $0,06 \pm 0,05$  mg/L (V1);  $0,06 \pm 0,05$  mg/L (V2);  $0,03 \pm 0,01$  mg/L (V3);  $0,03 \pm 0,01$  mg/L (V4);  $0,007 \pm 0,006$  mg/L (V5), dan  $0,03 \pm 0,01$  mg/L (V6) berdasarkan kisaran konsentrasi pada Tabel 3. Konsentrasi efluen nitrit pada unit FMM cenderung menurun dari hari pertama hingga hari ke-5 pada setiap variasi (Gambar 4). Konsentrasi efluen nitrit rata-rata pada KA sebesar  $0,012 \pm 0,006$  mg/L (V1);  $0,03 \pm 0,02$  mg/L (V2);  $0,02 \pm 0,01$  mg/L (V3);  $0,03 \pm 0,01$  mg/L (V4);  $0,022 \pm 0,02$  mg/L (V5), dan  $0,03 \pm 0,01$  mg/L (V5). Konsentrasi nitrit unit KA berfluktuatif sehingga unit CA tidak konstan dalam mereduksi nitrit (Gambar 4). Hal tersebut diakibatkan oleh media karbon aktif memiliki kandungan fisikokimia padat pada setiap partikelnya dan rongga cenderung lebih sedikit dibandingkan media adsorben lain sehingga karbon aktif lebih mudah jenuh dalam mengikat adsorbat (Carminati *et al.* 2016). Peningkatan konsentrasi nitrit diakibatkan oleh kondisi media jenuh sehingga harus dilakukan pembaruan media pada setiap variasi untuk memperoleh kondisi penyerapan yang sama.

Konsentrasi efluen nitrit rata-rata pada NF sebesar  $0,0006 \pm 0,0001$  mg/L (V1);  $0,001 \pm 0,0003$  mg/L (V2);  $0,008 \pm 0,0006$  mg/L (V3);  $0,004 \pm 0,002$  mg/L (V4);  $0,001 \pm 0$  mg/L (V5), dan  $0,05 \pm 0,03$  mg/L (V6). Penurunan konsentrasi nitrit efluen NF pada setiap variasi mencapai 0 mg/L. Hal tersebut terjadi karena aktivitas fotokatalitik dan sifat konversi membran divariasikan berdasarkan konsentrasi efluen nitrit. NF mampu menyisihkan nitrit hingga 100% dalam rentang waktu 8 jam untuk volume air 800 L. Pencucian dibutuhkan ketika kondisi membran telah jenuh dan terjadi penurunan nilai fluks sehingga tidak dapat bekerja secara optimal (Xiang *et al.* 2021).

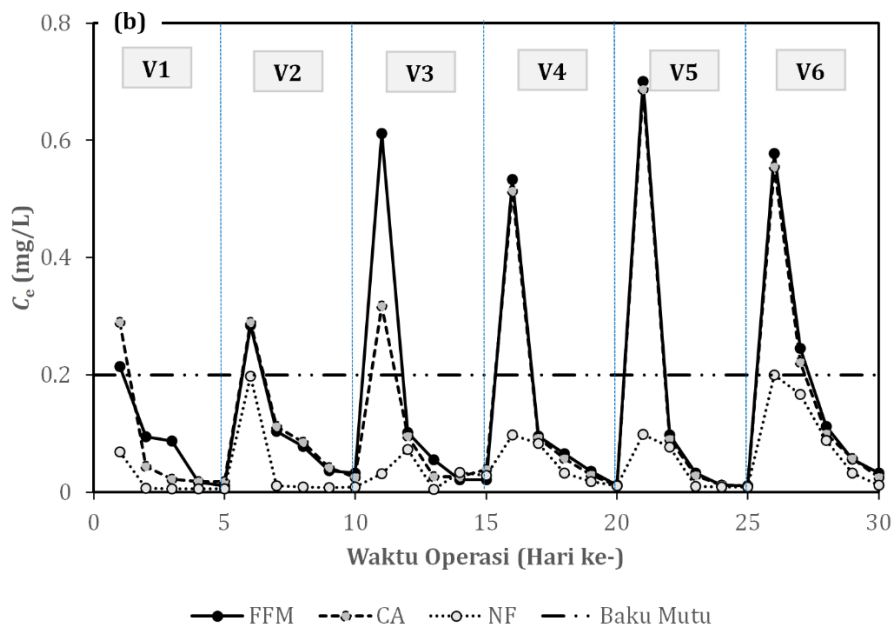
Efisiensi reduksi nitrit ditinjau berdasarkan kandungan fisikokimia media adsorben. Variasi ketebalan zeolit memengaruhi tingkat reduksi pencemaran nitrit. Variasi terbaik terdapat pada V5 dengan konsentrasi rata-rata nitrit FMM, KA, dan NF berturut-turut sebesar 0,007 mg/L, 0,022 mg/L, dan 0,001 mg/L. Persen total efisiensi pada tiap unit bernilai sama sebesar 100%. Dengan demikian,

**Tabel 3** Kisaran konsentrasi parameter kualitas air pada konfigurasi RAS

Variasi	Kisaran nilai			
	Influen FMM	Efluen FMM/ influen KA	Efluen KA/ influen NF	Efluen NF
<b>a. Amonia (mg/L)</b>				
V1	0,76 - 5,03	0,19 - 0,54	0,29 - 1,11	0,15 - 0,56
V2	0,54 - 4,35	0,25 - 0,72	0,31 - 0,76	0,37 - 0,8
V3	0,73 - 5,65	0,17 - 0,61	0,14 - 0,51	0,17 - 0,64
V4	0,52 - 5,65	0,11 - 0,65	0,09 - 0,63	0,09 - 0,61
V5	0,07 - 6,92	0,01 - 1,79	0 - 1,52	0 - 1,64
V6	0,08 - 6,9	0,02 - 4,12	0 - 4,01	0,01 - 4,23
<b>b. Nitrit (mg/L)</b>				
V1	0,09 - 3,43	0 - 0,61	0,01 - 0,83	0 - 0,09
V2	0,01 - 4,49	0 - 0,81	0,01 - 0,83	0 - 0,28
V3	0,01 - 4,71	0 - 0,88	0,01 - 0,18	0 - 0,01
V4	0,01 - 4,32	0 - 0,77	0 - 0,29	0 - 0,03
V5	0 - 5,47	0 - 1,01	0 - 0,99	0 - 0,14
V6	0,01 - 5,05	0,01 - 0,83	0,01 - 0,8	0 - 0,28
<b>c. Total suspended solids (mg/L)</b>				
V1	22 - 84	18 - 32	12 - 18	2 - 4
V2	48 - 70	18 - 46	18 - 22	6 - 8
V3	18 - 66	2 - 10	4 - 18	4 - 6
V4	20 - 56	4 - 12	8 - 18	6 - 10
V5	8 - 16	0	0	0
V6	8 - 16	0	0	0
<b>d. Dissolved oxygen (mg/L)</b>				
V1	2,4 - 7	2,6 - 7,1	4 - 7,3	4 - 8
V2	3,1 - 6,8	4 - 7,1	4 - 7	4,5 - 7,1
V3	3 - 8,6	3,4 - 8,7	3,3 - 8,9	3,6 - 9,9
V4	3,4 - 8	3,4 - 8,7	3,4 - 8,5	3,6 - 9
V5	4,1 - 9,2	4,6 - 9,1	4,3 - 9,1	5,1 - 9
V6	4,4 - 8,7	4,6 - 8,7	3,4 - 8,8	3,6 - 8,9
<b>e. Alkalinitas (mg/L)</b>				
V1	47 - 66,4	51,6 - 65,6	52,6 - 67,6	53,6 - 70,8
V2	51,4 - 56,4	51,2 - 56,8	51,2 - 54,4	53,2 - 56,6
V3	49,4 - 82,4	52,2 - 83,4	53,4 - 82,8	52,2 - 88,6
V4	52 - 72,2	52,6 - 82	53,4 - 82,8	51,2 - 88,6
V5	51,6 - 89,8	58,8 - 88,2	64,1 - 90,4	68,2 - 93
V6	64,1 - 86,3	64,1 - 89,9	70,5 - 92,1	72,2 - 93,9
<b>a. pH (non-satuan)</b>				
V1	4,7 - 7	5 - 7,3	5,1 - 7,2	6 - 8
V2	3,9 - 7,4	4,4 - 7,4	4,6 - 7,3	4,9 - 7,9
V3	4,2 - 6,3	4,6 - 6,6	4,6 - 6,6	4,9 - 6,9
V4	5,1 - 7,1	5,3 - 7,4	5,3 - 6,7	5,0 - 7,0
V5	5,0 - 6,3	5,6 - 7,2	5,3 - 7,0	5,8 - 7,8
V6	4,8 - 6,3	5,1 - 7,0	5,6 - 6,3	5,9 - 7,8
<b>f. Temperatur (°C)</b>				
V1	29,7 - 34	29,7 - 33,4	29 - 34,3	29 - 34,3
V2	29,6 - 34,3	30,1 - 33,4	29,4 - 32,4	29,2 - 34,3
V3	29,8 - 34,3	29,2 - 34	29,2 - 34,1	29,4 - 33,1
V4	29 - 33,2	30,3 - 33,7	29,5 - 33,8	30,8 - 33,2
V5	28,8 - 34,5	29 - 35,3	29,2 - 35,1	29,2 - 35,8
V6	29,8 - 35,2	28,4 - 33,4	29,3 - 34,3	29 - 33,8



**Gambar 3** Fluktuasi amonia pada efluen FMM, KA, dan NF



**Gambar 4** Fluktuasi nitrit pada efluen FFM, KA, dan NF

konsentrasi rata-rata nitrit dapat memenuhi nilai baku mutu berdasarkan SNI 7734-2011 tentang *Ikan Hias Koi (Cyprinus carpio L.): Syarat Mutu dan Penanganan* sebesar maksimal 0,2 mg/L setelah melalui proses pada unit KA.

#### c. Dissolved Oxygen (DO)

Konsentrasi efluen DO rata-rata pada unit FMM sebesar  $6,8 \pm 0,27$  mg/L (V1);  $6,2 \pm 0,19$  mg/L (V2);  $6,9 \pm 0,08$  mg/L (V3);  $7 \pm 0,07$  mg/L (V4);  $7,6 \pm 0,1$  mg/L (V5), dan  $6,9 \pm 0,12$  mg/L (V6) berdasarkan nilai kisaran pada Tabel 3. Konsentrasi DO optimal pada unit FMM optimum terdapat pada V5 dan V6 sebesar 6,9 mg/L. Konsentrasi efluen DO rata-rata pada unit KA sebesar  $6,4 \pm 0,21$  mg/L (V1);  $6,2 \pm 0,02$  mg/L (V2);  $7 \pm 0,04$  mg/L (V3);  $7,1 \pm 0,043$  mg/L (V4);  $7,4 \pm 0,07$  mg/L (V5), dan  $7,2 \pm 0,11$  mg/L (V6). Konsentrasi DO pada unit KA umumnya konstan

dengan konsentrasi optimal terdapat pada V5 dan V6 sebesar 7,4 mg/L dan 7,2 mg/L. Konsentrasi efluen DO rata-rata pada unit NF sebesar  $6,8 \pm 0,2$  mg/L (V1);  $6,5 \pm 0,13$  mg/L (V2);  $7,6 \pm 0,42$  mg/L (V3);  $7,6 \pm 0,32$  mg/L (V4);  $7,9 \pm 0,44$  mg/L (V5), dan  $7,7 \pm 0,02$  mg/L (V6). Konsentrasi efluen DO rata-rata optimum unit NF terdapat pada variasi V5 dan V6 dengan nilai berturut-turut sebesar 7,9 mg/L dan 7,7 mg/L.

Seluruh variasi V1–V6 telah memenuhi baku mutu nilai DO berdasarkan SNI 7734-2011 tentang *Ikan Hias Koi (Cyprinus carpio L.): Syarat Mutu dan Penanganan* sebesar minimal 5 mg/L. Kadar DO sebesar 1 – 5 mg/L dapat memenuhi suplai oksigen ikan. Namun, nilai tersebut belum dapat memberikan dampak optimal terhadap pertumbuhan ikan. DO menjadi salah satu parameter penting dalam keberlangsungan hidup ikan koi karena dibutuhkan untuk proses oksidasi amonia. Konsentrasi DO

memiliki korelasi terhadap konsentrasi amonia. Nilai konsentrasi DO semakin besar maka nilai konsentrasi amonia semakin kecil (Ahmed dan Turchini 2021).

#### d. Alkalinitas

Konsentrasi alkalinitas pada konfigurasi unit RAS tidak menunjukkan tren perubahan (Tabel 3). Konsentrasi efluen alkalinitas rata-rata pada unit FMM sebesar  $63,93 \pm 1,58$  mg/L (V1);  $53,96 \pm 2,06$  mg/L (V2);  $70,08 \pm 10,47$  mg/L (V3);  $67,08 \pm 10,33$  mg/L (V4);  $70,46 \pm 10,04$  mg/L (V5),  $70,54 \pm 10,84$  mg/L (V6). Konsentrasi alkalinitas optimal pada efluen unit FMM terdapat pada variasi V5 sebesar  $70,46$  mg/L. Konsentrasi efluen alkalinitas rata-rata pada unit KA sebesar  $61,26 \pm 1,46$  mg/L (V1);  $52,56 \pm 1,18$  mg/L (V2);  $69,60 \pm 9,87$  mg/L (V3);  $69,6 \pm 9,87$  ppm mg/L (V4);  $73,26 \pm 9,45$  ppm mg/L (V5),  $74,58 \pm 9,46$  mg/L (V6). Konsentrasi alkalinitas optimal pada efluen unit KA terdapat pada variasi V6 sebesar  $74,58$  mg/L. Konsentrasi efluen alkalinitas rata-rata pada unit NF sebesar  $62,56 \pm 6,40$  mg/L (V1);  $54,96 \pm 1,09$  mg/L (V2);  $74,12 \pm 13,68$  mg/L (V3);  $73,92 \pm 14,00$  mg/L (V4),  $78,92 \pm 9,92$  mg/L (V5),  $79,98 \pm 9,35$  mg/L (V6). Konsentrasi optimal alkalinitas pada efluen unit NF terdapat pada variasi V6 sebesar  $79,98$  mg/L.

Konsentrasi alkalinitas memiliki korelasi dengan nilai pH. Konsentrasi alkalinitas semakin besar maka nilai pH semakin kecil. Korelasi konsentrasi alkalinitas dan pH disebabkan oleh nukleasi zeolit. Konsentrasi alkalinitas diperoleh berdasarkan campuran reaksi yang digunakan dalam pengamatan maupun kondisi proses yang sedang berlangsung. Alkalinitas dihasilkan dari reaksi  $\text{CO}_2$  pada air dengan senyawa untuk membentuk asam karbonat dan berdisosiasi membentuk ion dinitrogen dan bikarbonat (Han *et al.* 2020). Ion tersebut memiliki fungsi sebagai *buffer*.

#### e. Total Suspended Solid (TSS)

TSS merupakan parameter yang cukup signifikan tereduksi di dalam unit RAS karena karakter padatan biologis yang mudah terseparasi melalui proses fisika melalui media dan membran. Pada Tabel 3, efisiensi TSS dapat mencapai nilai optimal sebesar 100% apabila menggunakan NF pada tahap akhir. Konsentrasi efluen TSS rata-rata pada unit FMM sebesar  $25 \pm 14$  mg/L (V1);  $32 \pm 13,5$  mg/L (V2);  $6 \pm 18$  mg/L (V3);  $8 \pm 15$  mg/L (V4);  $0 \pm 0$  mg/L (V5);  $0 \pm 0$  mg/L (V6). Konsentrasi TSS optimal pada efluen unit FMM terdapat pada variasi V5 dan V6 dengan sebesar  $0$  mg/L. Konsentrasi efluen TSS rata-rata pada unit KA sebesar  $15 \pm 5$  mg/L (V1);  $20 \pm 6$  mg/L (V2);  $11 \pm 2,5$  mg/L (V3);  $13 \pm 2,5$  mg/L (V4);  $0 \pm 0$  mg/L (V5), dan  $0 \pm 0$  mg/L (V6). Nilai konsentrasi TSS optimal pada efluen unit KA terdapat pada variasi V5 dan V6 sebesar  $0$  mg/L. Konsentrasi efluen TSS rata-rata pada unit NF sebesar  $3 \pm 1,5$  mg/L (V1);  $7 \pm 6,5$  mg/L (V2);  $5 \pm 3$  mg/L (V3);  $8 \pm 2,5$  mg/L (V4);  $0 \pm 0$  mg/L (V5), dan  $0 \pm 0$  mg/L (V6).

Unit konfigurasi RAS mampu mereduksi parameter TSS dengan optimal, terutama pada variasi V5 dan V6 dengan kisaran konsentrasi influen

parameter TSS sebesar  $8 - 16$  mg/L pada unit FMM. Konsentrasi TSS pada V1, V2, V3, dan V4 memiliki perbedaan signifikan terhadap V5 dan V6. Hal tersebut disebabkan oleh penggunaan zeolit lebih tebal pada V5 dan V6 sehingga meningkatkan proses separasi padatan biologis secara fisik. Variasi ketebalan zeolit memengaruhi kinerja unit FMM, KA, dan NF. Namun, variasi debit tidak memengaruhi konsentrasi TSS.

#### f. pH

Nilai pH cenderung mendekati nilai netral (pH = 7) setelah melalui unit NF (Tabel 3). Nilai pH rata-rata pada efluen unit FMM sebesar  $6,6 \pm 0,82$  (V1);  $6,5 \pm 1,08$  (V2);  $6,0 \pm 0,78$  (V3);  $6,3 \pm 0,75$  (V4);  $6,3 \pm 0,61$  (V5), dan  $6,2 \pm 0,70$  (V6). Nilai pH optimum pada efluen unit FMM terdapat pada variasi V1 dan V2. Nilai pH rata-rata pada efluen unit KA sebesar  $6,6 \pm 0,76$  (V1);  $6,6 \pm 1,02$  (V2);  $6,0 \pm 0,75$  (V3);  $6,2 \pm 0,52$  (V4);  $6,3 \pm 0,59$  (V5), dan  $6,2 \pm 0,37$  (V6). Nilai pH rata-rata pada efluen unit NF sebesar  $6,9 \pm 0,71$  (V1);  $6,9 \pm 1,05$  (V2);  $6,3 \pm 0,76$  (V5); serta  $6,7 \pm 0,65$  (V6). Nilai pH optimum unit NF terdapat pada variasi V1 dan V2. Nilai pH berbanding terbalik dengan konsentrasi alkalinitas. Peningkatan nilai pH secara umum diiringi dengan penurunan konsentrasi alkalinitas. Nilai pH tertinggi pada setiap variasi terdapat pada V1 dan V2 karena nilai konsentrasi alkalinitas pada variasi tersebut lebih rendah dibandingkan dengan variasi lain.

Nilai pH perairan dipengaruhi oleh alkalinitas dan oksigen terlarut dengan semakin kecil nilai DO dan alkalinitas, maka nilai pH semakin tinggi. Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian. Nilai pH pada variasi V5 dan V6 lebih rendah karena konsentrasi DO dan alkalinitas pada variasi tersebut lebih besar sehingga kondisi kolam pemeliharaan cenderung lebih asam pada variasi tersebut. Kondisi variasi V1 memiliki nilai DO dan alkalinitas lebih rendah sehingga kondisi kolam pemeliharaan cenderung memiliki sifat basa.

#### g. Temperatur

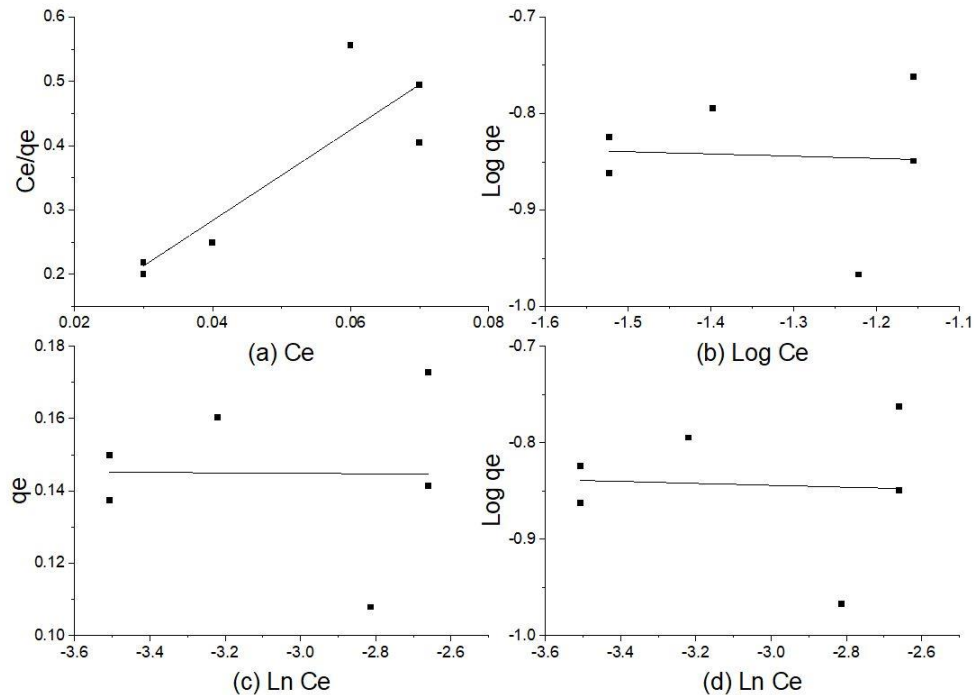
Variasi ketebalan zeolit dan debit tidak memengaruhi suhu secara signifikan. Temperatur operasional rata-rata unit FMM mencapai  $31,4 \pm 1,51^\circ\text{C}$  (V1);  $31,6 \pm 1,32^\circ\text{C}$  (V2);  $31,6 \pm 1,77^\circ\text{C}$  (V3);  $32,3 \pm 1,22^\circ\text{C}$  (V4);  $31,4 \pm 2,45^\circ\text{C}$  (V5), serta  $30,9 \pm 2,01^\circ\text{C}$  (V6). Temperatur FMM memiliki nilai fluktuatif dengan rentang  $29-35,3^\circ\text{C}$  (V5), serta  $30,9 \pm 2,01^\circ\text{C}$  (V6). Suhu FMM memiliki nilai fluktuatif dengan rentang  $29-35,3^\circ\text{C}$ . Berdasarkan hasil pemantauan, fluktuasi temperatur diakibatkan oleh kondisi eksternal unit pengolahan, termasuk panas yang dihasilkan dari alat-alat pendukung, seperti pompa, sehingga memengaruhi temperatur kolam perlakuan. Temperatur operasional rata-rata unit KA sebesar  $31,7 \pm 2,12^\circ\text{C}$  (V1);  $31,8 \pm 1,70^\circ\text{C}$  (V2);  $31,8 \pm 1,70^\circ\text{C}$  (V3);  $31,8 \pm 1,53^\circ\text{C}$  (V4);  $31,6 \pm 2,28^\circ\text{C}$  (V5), dan  $31,4 \pm 2,04^\circ\text{C}$  (V6). Hampir serupa dengan



**Tabel 4** Hasil analisis model isoterm adsorpsi amonia dan nitrit

Langmuir		Freundlich		Temkin		Hasley	
$K_L$ (L/mg)	$R^2$	$K_F$ (L/mg)	$R^2$	$K_T$ (L/mg)	$R^2$	$K$ (L/mg)	$R^2$
Amonia:							
1,07	0,10	0,48	0,97	15,68	0,95	0,45	0,95
Nitrit:							
90,18	0,77	0,13	$3,27 \times 10^{-3}$	$1,11 \times 10^{-89}$	$1,58 \times 10^{-4}$	$5,43 \times 10^{-37}$	$3,27 \times 10^{-3}$

$K_L$  : konstanta isoterm Langmuir;  $K_F$  : koefisien isoterm Freundlich;  $K_T$  : koefisien isoterm Temkin;  $Ln K$  : koefisien isoterm Hasely;  $R^2$  : koefisien determinasi



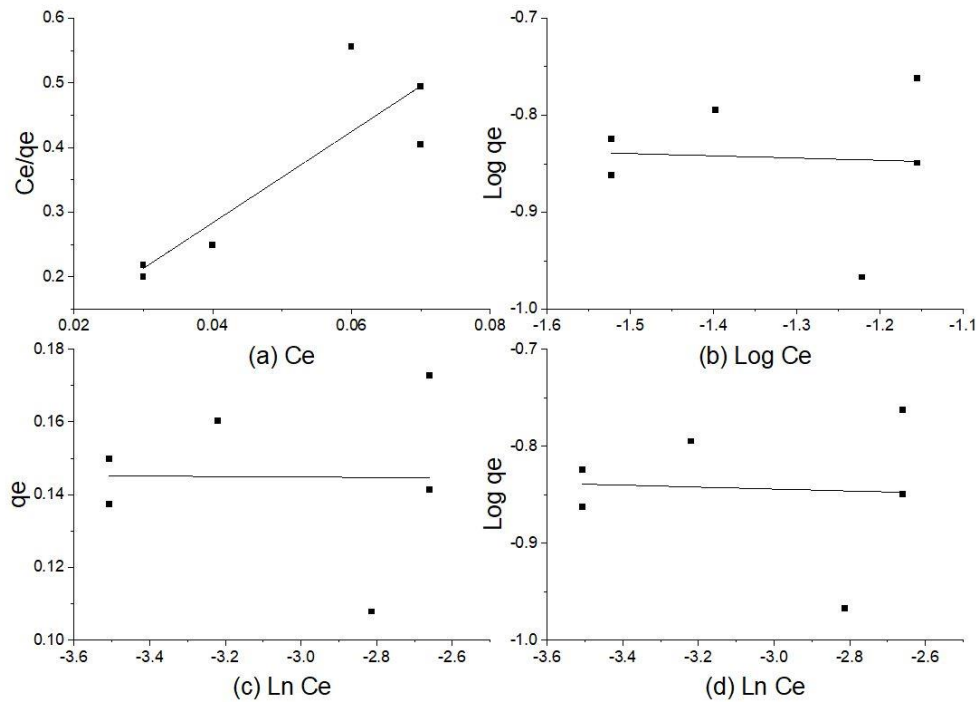
**Gambar 5** Model isoterm adsorpsi amonia: (a) Langmuir, (b) Freundlich, (c) Temkin, dan (d) Hasely

unit KA, temperatur operasional pada unit NF sebesar  $29,3 \pm 2,38$  °C (V1);  $32 \pm 2,21$  °C (V2);  $31,4 \pm 1,31$  °C (V3);  $32,2 \pm 0,87$  °C (V4);  $31,9 \pm 2,57$  °C (V5), serta  $30,8 \pm 1,82$  °C (V6). Dengan demikian, sebagian besar temperatur tidak memenuhi baku mutu temperatur sebesar  $20 - 26$  °C berdasarkan SNI 7734-2011 tentang *Ikan Hias Koi (Cyprinus carpio L.): Syarat Mutu dan Penanganan*. Kondisi tersebut kurang sesuai terhadap keberlangsungan hidup ikan. (V6). Hampir serupa dengan unit KA, temperatur operasional pada unit NF sebesar  $29,3 \pm 2,38$  °C (V1);  $32 \pm 2,21$  °C (V2);  $31,4 \pm 1,31$  °C (V3);  $32,2 \pm 0,87$  °C (V4);  $31,9 \pm 2,57$  °C (V5), serta  $30,8 \pm 1,82$  °C (V6). Dengan demikian, sebagian besar temperatur tidak memenuhi baku mutu temperatur sebesar  $20 - 26$  °C berdasarkan SNI 7734-2011 tentang *Ikan Hias Koi (Cyprinus carpio L.): Syarat Mutu dan Penanganan*. Kondisi tersebut kurang sesuai terhadap keberlangsungan hidup ikan. Temperatur operasional rata-rata unit KA sebesar  $31,7 \pm 2,12$  °C (V1);  $31,8 \pm 1,70$  °C (V2);  $31,8 \pm 1,70$  °C (V3);  $31,8 \pm 1,53$  °C (V4);  $31,6 \pm 2,28$  °C (V5), dan  $31,4 \pm 2,04$  °C (V6). Hampir serupa dengan unit KA,

temperatur operasional pada unit NF sebesar  $29,3 \pm 2,38$  °C (V1);  $32 \pm 2,21$  °C (V2);  $31,4 \pm 1,31$  °C (V3);  $32,2 \pm 0,87$  °C (V4);  $31,9 \pm 2,57$  °C (V5), serta  $30,8 \pm 1,82$  °C (V6). Dengan demikian, sebagian besar temperatur tidak memenuhi baku mutu temperatur sebesar  $20 - 26$  °C berdasarkan SNI 7734-2011 tentang *Ikan Hias Koi (Cyprinus carpio L.): Syarat Mutu dan Penanganan*. Kondisi tersebut kurang sesuai terhadap keberlangsungan hidup ikan.

### 3.2. Isoterm Adsorpsi Unit FMM

Pada proses adsorpsi FMM, hasil analisis model isoterm Langmuir untuk amonia diperoleh nilai adsorpsi maksimum ( $q_m$ ) sebesar  $1,88$  mg/g. Nilai konstanta isoterm Langmuir ( $K_L$ ) diperoleh sebesar  $1,07$  L/mg (Tabel 4). Selain itu, nilai  $K_L$  dari model isoterm Langmuir untuk nitrit dihasilkan sebesar  $90,18$  L/mg dan  $q_m$  sebesar  $0,14$  mg/g (Tabel 4). Nilai  $R_L$  untuk amonia dan nitrit pada perbandingan enam variasi berturut-turut sebesar  $0,14$  dan  $0,23$  menunjukkan tingkat kesesuaian untuk kemungkinan



**Gambar 6** Model isoterm adsorpsi nitrit: (a) Langmuir, (b) Freundlich, (c) Temkin, dan (d) Hasely

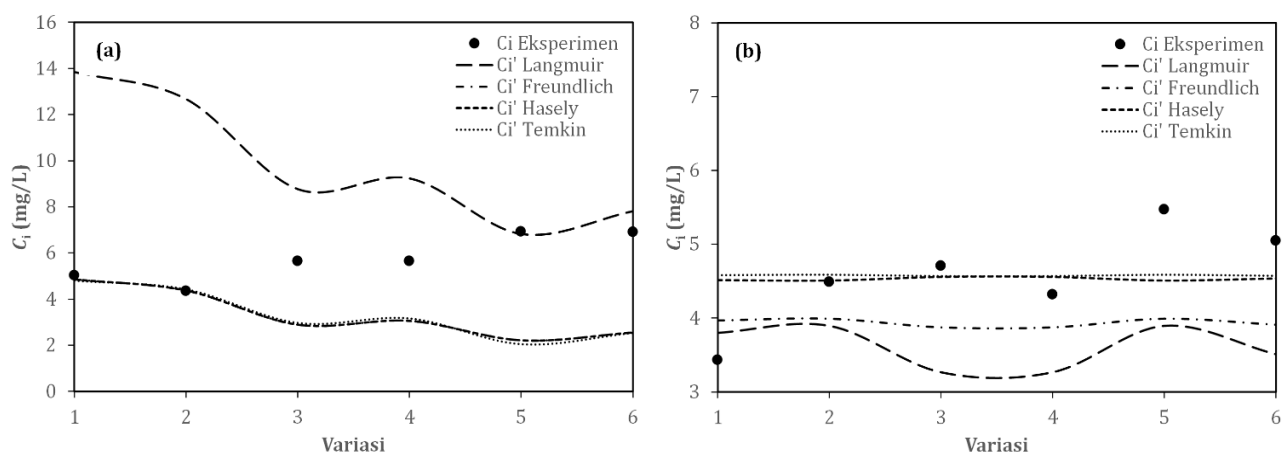
proses adsorpsi selama perbedaan variasi berdasarkan ketentuan  $0 < R_L < 1$  (tidak ada kesesuaian ( $R_L > 1$ ), linear ( $R_L = 1$ ), atau *irreversible* ( $R_L = 0$ )) (Roy *et al.* 2017). Namun demikian, nilai  $R^2$  berdasarkan hubungan antara  $C_e/q_e$  terhadap  $C_e$  menunjukkan nilai korelasi yang rendah untuk amonia sebesar 0,1 (Gambar 5(a) dan Tabel 4). Sebaliknya, nilai  $R^2$  menunjukkan korelasi yang lebih kuat sebesar 0,77 untuk nitrit (Gambar 6(a) dan Tabel 4). Dengan demikian, penggunaan model isoterm Langmuir untuk proses filtrasi amonia berdasarkan perbedaan ketebalan dan debit cenderung lebih sulit mendapatkan tingkat presisi yang baik antara data eksperimen dan model (Al-Ghouthi dan Da’ana 2020).

Tabel 4 menunjukkan konstanta isoterm Freundlich ( $K_F$ ) untuk amonia dan nitrit berturut-turut sebesar 0,48 L/mg dan 0,13 L/mg. Variabel  $n$  merupakan orde reaksi tak berdimensi untuk menunjukkan proses adsorptif natural. Nilai  $n$  menunjukkan proses adsorpsi linier jika  $n = 1$ , adsorpsi secara kimiawi jika  $n < 1$ , dan terjadi secara fisik pada  $n > 1$  (Emmett dan Kummer 1943). Nilai  $n$  untuk amonia dan nitrit dihasilkan berturut-turut sebesar 1,08 dan 43,16 sehingga mengindikasikan bahwa jenis proses adsorpsi dilangsungkan secara fisik. Nilai  $R^2$  berdasarkan hubungan antara  $\text{Log } q_e$  terhadap  $\text{Log } C_e$  sebesar 0,97 untuk amonia dan  $3,27 \times 10^{-3}$  untuk nitrit (Gambar 5(b), Gambar 6(b), dan Tabel 4). Nilai nitrit mengindikasikan hubungan  $\text{Log } q_e$  sebagai data bebas (*independent*) terhadap  $\text{Log } C_e$  sebagai data terikat (*dependent*) sangat lemah.

Koefisien isoterm Temkin ( $K_T$ ) untuk amonia sebesar 15,68 L/mg dan nilai  $R^2$  menunjukkan tingkat

kesesuaian sebesar 0,95 (Gambar 5(c) dan Tabel 4). Nilai  $K_T$  tersebut menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi pada adsorben zeolit lebih besar. Akan tetapi, model isoterm ini menghasilkan nilai  $K_T$  yang sangat kecil untuk penyisihan nitrit sebesar  $1,11 \times 10^{-89}$  atau ekuivalen dengan nol sehingga menghasilkan nilai  $R^2$  yang rendah sebesar  $1,58 \times 10^{-4}$  (Gambar 6(c) dan Tabel 4). Model isoterm Temkin lebih cocok menggambarkan proses adsorpsi pada lapisan tunggal. Menurut Johnson dan Arnold (1995), model isoterm Temkin sangat baik digunakan dalam memprediksi kesetimbangan pada fase gas, tetapi model ini ternyata cukup baik digunakan di dalam menganalisis adsorpsi amonia pada fase cairan. Akan tetapi, pada adsorpsi dengan proses yang kompleks mencakup fase cairan, model isoterm Temkin dinilai masih kurang dalam merepresentasikan hasil prediksi, seperti pada model isoterm nitrit.

Hasil analisis model isoterm Hasely untuk adsorpsi amonia menunjukkan nilai  $R^2$  sebesar 0,95 dengan nilai koefisien isoterm ( $K$ ) sebesar 0,45 L/mg (Gambar 5(d) dan Tabel 4). Model isoterm Hasely merupakan turunan dari model isoterm Langmuir sehingga menggambarkan proses adsorpsi pada media tunggal (Nandiyanto *et al.* 2020). Dengan demikian, model isoterm Hasely dapat digunakan dalam memprediksi kesetimbangan untuk konsentrasi amonia. Akan tetapi, model isoterm Hasely tidak baik jika digunakan dalam memprediksi kesetimbangan untuk nitrit karena nilai  $K$  dihasilkan sangat kecil sebesar  $5,43 \times 10^{-37}$  ( $\approx 0$ ) dengan nilai  $R^2$  sebesar  $3,27 \times 10^{-3}$  (Gambar 6(d)).



Gambar 7 Prediksi konsentrasi efluen (a) amonia dan (b) nitrit unit FMM berdasarkan variasi model isoterm adsorpsi

Berdasarkan uraian di atas, model isoterm Freundlich, Temkin, dan Hasely merupakan model terbaik untuk proses adsorpsi amonia pada unit FMM pada sistem RAS. Selain itu, model isoterm Langmuir merupakan model terbaik untuk proses adsorpsi nitrit. Hasil penelitian ini serupa dengan penelitian akuakultur lain ketika nilai  $R^2$  terbaik dihasilkan dari model isoterm Freundlich sebesar 0,75 untuk amonia dan model isoterm Langmuir sebesar 0,91 untuk nitrit melalui penggunaan *chitosan* dan karbon aktif (Rezaei *et al.* 2021). Khalil *et al.* (2018) juga mengungkapkan penggunaan model isoterm Freundlich untuk amonia menghasilkan nilai sebesar 0,98 ketika *biochart* digunakan pada tambak ikan. Dengan demikian, pendekatan isoterm untuk adsorpsi amonia dan nitrit dipilih melalui pendekatan yang berbeda berdasarkan ketebalan dan penggunaan debit pada unit FMM sistem RAS. Model isoterm Freundlich, Temkin, dan Hasely dianggap sebagai model yang lebih cocok untuk menggambarkan proses adsorpsi amonia karena:

- a. *Nonlinearitas adsorpsi amonia*: Adsorpsi amonia seringkali menunjukkan sifat nonlinear ketika peningkatan konsentrasi amonia tidak selalu menghasilkan peningkatan proporsional dalam adsorpsi (Kizito *et al.* 2016). Model-model isoterm seperti Freundlich, Temkin, dan Hasely dapat menggambarkan hubungan nonlinier ini lebih presisi dibandingkan model isoterm Langmuir melalui penyesuaian data eksperimen untuk menggambarkan perubahan sifat adsorpsi amonia yang kompleks.
- b. *Karakteristik permukaan adsorben*: Permukaan adsorben pada proses adsorpsi amonia umumnya memiliki sifat non-ideal dan heterogenitas (Hosseini *et al.* 2017; Rezaei *et al.* 2021). Model isoterm Freundlich, Temkin, dan Hasely memperhitungkan sifat ini dengan asumsi distribusi konsentrasi amonia yang tidak seragam di permukaan adsorben. Tiga model tersebut memungkinkan untuk memberikan deskripsi variasi konsentrasi amonia lebih akurat selama proses adsorpsi.

Di sisi lain, model isoterm Langmuir lebih cocok untuk menggambarkan proses adsorpsi nitrit karena:

- a. *Ketersediaan situs adsorpsi*: Isoterm Langmuir mengasumsikan adanya situs adsorpsi tunggal yang dapat diisi oleh molekul yang diadsorpsi. Konsentrasi nitrit cenderung memiliki kecenderungan untuk mengikat pada situs adsorpsi yang terbatas dan sesuai dengan asumsi model isoterm Langmuir (Elemile *et al.* 2022).
- b. *Sifat adsorben*: Nitrit, sebagai ion bermuatan negatif, memiliki sifat kimia yang berbeda dari amonia, sebagai ion bermuatan positif. Interaksi kimia dan daya tarik elektrostatis antara nitrit dan media adsorpsi lebih konsisten melalui model isoterm Langmuir (Shen *et al.* 2022).

### 3.3. Hasil Uji Performa Model

Pemilihan analisis RMSE digunakan untuk uji performa model untuk membentuk estimasi variabel prediktor dari nilai regresi multivarian. Hasil perhitungan uji statistik RMSE memiliki nilai terkecil mendekati nol untuk jenis model terbaik (Rifqy 2022). Nilai terkecil pada uji statistik RMSE pada parameter amonia terkecil berada pada model isoterm Temkin dan Hasely dengan nilai sebesar 3,04 dan hasil nilai tertinggi terdapat pada model isoterm Langmuir dengan nilai 5,32 (Tabel 5). Walaupun demikian, model isoterm Freundlich (RMSE = 3,06) juga dapat digunakan untuk menentukan kapasitas adsorpsi di FMM karena menunjukkan nilai yang hampir sama dengan model isoterm Temkin dan Hasely.

Perbedaan hasil prediksi bisa terjadi karena karakteristik masing-masing model persamaan yang berbeda. Hasil prediksi konsentrasi amonia influen ( $C_i$ ) unit FMM masih belum terlalu mendekati dengan data eksperimen. Hal tersebut diakibatkan nilai RMSE masih relatif tinggi. Namun, kecenderungan prediksi antara ketiga model isoterm (Hasely, Temkin, dan Freundlich) menunjukkan tren yang sama sehingga model tersebut dapat digunakan (Gambar 7). Kondisi berbeda ditunjukkan untuk nilai RMSE nitrit. Nilai  $R^2$  kecil pada model isoterm Freundlich, Temkin, dan

Hasely menunjukkan nilai RMSE terbaik dibandingkan model isoterm Langmuir (Tabel 4 dan Tabel 5). Hal ini diakibatkan ketiga model tersebut memiliki tingkat kesalahan yang rendah saat memprediksi nilai konsentrasi  $C_i'$ , tetapi korelasi antar variabel sangat kecil. Prediksi akurat pada ketiga model tersebut (Gambar 7) hanya disebabkan karena varians responnya yang rendah. Dengan demikian, model Langmuir tetap terpilih untuk proses adsorpsi nitrit berdasarkan dari hubungan korelasi yang lebih kuat dan standar kelayakan nilai isoterm yang diperoleh. Kondisi tersebut kurang sesuai terhadap keberlangsungan hidup ikan.

**Tabel 5** Hasil uji performa model isoterm

Model	RMSE Amonia	RMSE Nitrit
Langmuir	5,32	1,19
Freundlich	3,04	0,90
Temkin	3,06	0,64
Hasely	3,04	0,64

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini dapat disimpulkan bahwa penggunaan FMM di dalam sistem RAS ikan hias cukup efektif di dalam reduksi parameter amonia dan nitrit berturut-turut hingga mencapai 0,13–0,48 mg/L dan 0,007–0,06 mg/L pada beberapa variasi ketebalan media dan debit aliran. Proses filtrasi untuk proses reduksi kontaminan amonia dan nitrit lebih efektif terjadi pada debit aliran 45 L/menit dan didukung media dengan ketebalan zeolit sebesar 90 cm, kerikil dan pasir pantai masing-masing sebesar 30 cm. Pada variasi tersebut, nilai efisiensi amonia sebesar 99,85% dan nitrit sebesar 100%, dengan penurunan pH berbanding terbalik dengan nilai alkalinitas. Variasi debit tidak memengaruhi reduksi parameter TSS karena parameter TSS memiliki perubahan nilai hanya pada saat terjadi perubahan variasi ketebalan media FMM. Penggunaan ketebalan adsorben sangat memengaruhi tingkat adsorpsi untuk penurunan parameter amonia dan nitrit. Model isoterm Temkin, Hasely, dan Freundlich menjadi model terbaik dalam menggambarkan dan menjelaskan proses adsorpsi amonia, sedangkan Langmuir merupakan model terbaik untuk proses adsorpsi nitrit. pada unit FMM berdasarkan pengujian  $R^2$  dan hasil uji performa model. Model ini didasarkan pada proses pengikatan adsorbet pada adsorben secara fisik baik pada kondisi permukaan lapisan tunggal maupun multilapisan.

#### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih dihaturkan kepada PT. *Innovation on Water Technology* (Iwatech) atas dukungan dalam penyediaan komponen alat dan

pemasangan konfigurasi nano membran NF90-4040 DOW Filmtech.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad I, Ali N, Jamal Y. 2016. Treatment of Domestic Wastewater by Natural Adsorbents Using Multimedia Filter Technology. *International Journal of Emerging Technologies in Engineering Research (IJETER)*. 4(4):164–167.
- Ahmed N, Turchini GM. 2021. Recirculating aquaculture systems (RAS): Environmental solution and climate change adaptation. *Journal of Cleaner Production*. 297:126604. doi:10.1016/j.jclepro.2021.126604.
- Al-Ghouthi MA, Da'ana DA. 2020. Guidelines for the use and interpretation of adsorption isotherm models: A review. *Journal of Hazardous Materials*. 393:122383. doi:10.1016/j.jhazmat.2020.122383.
- Amelia MN. 2018. Sistem Monitoring Budidaya Ikan Lele Teknik Bioflok Berdasarkan Suhu dan pH Air. Universitas Negeri Semarang.
- Ayawei N, Ebelegi AN, Wankasi D. 2017. Modelling and Interpretation of Adsorption Isotherms. *Journal of Chemistry*.
- Carminati A, Kroener E, Ahmed MA, Zarebanadkouki M, Holz M, Ghezzehei T. 2016. Water for Carbon, Carbon for Water. *Vadose Zone Journal*. 15(2):1–10. doi:10.2136/vzj2015.04.0060.
- Cescon A, Jiang JQ. 2020. Filtration process and alternative filter media material in water treatment. *Water (Switzerland)*. 12(12):3377. doi:10.3390/w12123377.
- Dediu L, Cristea V, Xiaoshuan Z. 2012. Waste production and valorization in an integrated aquaponic system with bester and lettuce. *African Journal of Biotechnology*. 11(9):2349–2358. doi:10.5897/ajb11.2829.
- Elemile OO, Akpor BO, Ibitogbe EM, Afolabi YT, Ajani DO. 2022. Adsorption isotherm and kinetics for the removal of nitrate from wastewater using chicken feather fiber. *Cogent Engineering*. 9(1). doi:10.1080/23311916.2022.2043227.
- Emmett PH, Kummer JT. 1943. Kinetics of Ammonia Synthesis. *Industrial & Engineering Chemistry*. 35(6):677–683.
- Ghanim AN, Ajjam SK. 2013. Modeling of Textile Wastewater Electrocoagulation Via Adsorption isotherm kinetics. *The Iraqi Journal For Mechanical And Material Engineering*. 13(1):49–62.
- Han MF, Wang C, Yang NY, Hu XR, Wang YC, Duan EH, Ren HW, Hsi HC, Deng JG. 2020. Performance enhancement of a biofilter with pH buffering and filter bed supporting material in removal of chlorobenzene. *Chemosphere*. 251:126358. doi:10.1016/j.chemosphere.2020.126358.
- Hosseini S, Eghbali Babadi F, Masoudi Soltani S, Aroua MK, Babamohammadi S, Mousavi Moghadam A. 2017. Carbon dioxide adsorption on nitrogen-enriched gel beads from calcined eggshell/sodium alginate natural composite. *Process Safety and Environmental Protection*. 109:387–399. doi:10.1016/j.psep.2017.03.021.
- Johnson RD, Arnold FH. 1995. The temkin isotherm describes heterogeneous protein adsorption. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)/Protein Structure and Molecular*. 1247(2):293–297. doi:10.1016/0167-4838(95)00006-G.
- Khalil A, Sergeevich N, Borisova V. 2018. Removal of ammonium from fish farms by biochar obtained from rice straw: Isotherm and kinetic studies for ammonium adsorption. *Adsorption Science and Technology*. 36(5–

Kristina, T., Assiddiqi, T.D., Setiawan, B.I., Arif, C., Kurniawan, A. (2023). Kinerja Unit dan Isoterm Adsorpsi Filtrasi Multimedia pada Sistem Resirkulasi Akuakultur Ikan Hias Berdasarkan Variasi Ketebalan Media dan Debit Aliran. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(4), 933-945. doi:10.14710/jil.23.4.933-945

- 6):1294–1309. doi:10.1177/0263617418768944.
- Kizito S, Wu S, Wandera SM, Guo L, Dong R. 2016. Evaluation of ammonium adsorption in biochar-fixed beds for treatment of anaerobically digested swine slurry: Experimental optimization and modeling. *Science of the Total Environment*. 563–564:1095–1104. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.05.149.
- Latour RA. 2015. The Langmuir isotherm: A commonly applied but misleading approach for the analysis of protein adsorption behavior. *Journal of Biomedical Materials Research - Part A*. 103(3):949–958. doi:10.1002/jbm.a.35235.
- Mulyadi M, Zaenab Z, Khaer A, Adam A, Mappau Z. 2021. The effectiveness of the sizerebotif multimedia filter method in improving the quality of dug well water to be clean water for communities in sinjai regency. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*. 9(E):1224–1227. doi:10.3889/oamjms.2021.7000.
- Nandiyanto ABD, Girsang GCS, Maryanti R, Ragadhita R, Anggraeni S, Fauzi FM, Sakinah P, Astuti AP, Usdiyana D, Fiandini M, et al. 2020. Isotherm adsorption characteristics of carbon microparticles prepared from pineapple peel waste. *Communications in Science and Technology*. 5(1):31–39.
- Ohale PE, Onu CE, Ohale NJ, Oba SN. 2020. Adsorptive kinetics, isotherm and thermodynamic analysis of fishpond effluent coagulation using chitin derived coagulant from waste Brachyura shell. *Chemical Engineering Journal Advances*. 4:100036.
- Rajahmundry GK, Garlapati C, Kumar PS, Alwi RS, Vo DVN. 2021. Statistical analysis of adsorption isotherm models and its appropriate selection. *Chemosphere*. 276:130176. doi:10.1016/j.chemosphere.2021.130176.
- Rezaei H, Rastegar S, Hedayati SA, Shahamat YD, Sedaghat O. 2021. Isothermal and Kinetic Evaluation of Adsorption Fish Farm Effluents by Nanocomposites (Chitosan and Activated Carbon). *Journal of Advances in Environmental Health Research*. 9(2):129–138. doi:10.32598/jaehr.9.2.1196.
- Rifqy A. 2022. Perbandingan Analisis Statistik Dan Metode Aic (Akaike Information Criterion) Dalam Pemilihan Distribusi Curah Hujan Harian Terhadap Debit Banjir Observasi Pada Das Putih Kabupaten Lombok Timur. Universitas Muhammadiyah Mataram.
- Roy JC, Salaün F, Giraud S, Ferri A, Chen G, Guan J. 2017. Solubility of Chitin: Solvents, Solution Behaviors and Their Related Mechanisms. Di dalam: *Solubility of Polysaccharides*.
- Shen Y, Chen N, Feng Z, Feng C, Deng Y. 2022. Treatment of nitrate containing wastewater by adsorption process using polypyrrole-modified plastic-carbon: Characteristic and mechanism. *Chemosphere*. 297. doi:10.1016/j.chemosphere.2022.134107.
- Sulistiyarto B, Restu. 2017. Mengurangi Beban Pencemaran Limbah Kolam Ikan Lele Dumbo (*Clarias gariepinus*) dengan Mengkonversi Limbah Menjadi Biomas Bloodworm (Larva Chironomidae). Di dalam: *Prosiding Seminar Nasional Lahan Basah Tahun 2016 Jilid 1*. Banjarmasin: Universitas Lambung Mangkurat. hlm. 239–243.
- Wang J, Guo X. 2020. Adsorption isotherm models: Classification, physical meaning, application and solving method. *Chemosphere*. 258:127279. doi:10.1016/j.chemosphere.2020.127279.
- Xiang X, Wang J, Liu QY, Peng M, Zhao YZ, Li QY, Li Q, Tang A, Liu Y, Liu HB. 2021. Fabrication of PVDF/CdS/Bi2S3/Bi2MoO6 and Bacillus/PVA hybrid membrane for efficient removal of nitrite. *Separation and Purification Technology*. 275:119195. doi:10.1016/j.seppur.2021.119195.