



Keramba Jaring Apung SMART sebagai Inovasi Sistem Budidaya Ramah Lingkungan di Perairan Danau dan Waduk

SMART Floating Net Cage as an Innovation of Eco-friendly Aquaculture System for Lake and Reservoir

ANDRI WARSA*, LISMINING PUJIYANI ASTUTI

Balai Riset Pemulihan Sumber Daya Ikan
Jalan Cilalawi No. 1 Jatiluhur, Purwakarta, Jawa Barat
*andriwarsa@yahoo.co.id

ARTICLE INFO

Article history:

Received 17 February 2021

Accepted 24 June 2022

Published 31 July 2022

Keywords:

SMART FCN

Aquaculture

Nile tilapia

Eco-friendly

ABSTRACT

*Aquaculture activity using floating net cage (FNC) in lake or reservoir was rapidly developing, and it was over carrying capacity. Uneaten feed and fish metabolisms were caused by water quality degradation. Some innovation was needed to diminish pollutant loading for cultivation activity, and SMART FCN can do it. SMART FNC is a water management system with circulation and aquatic plants as an innovation for conventional KJA. This paper aimed to shown SMART FCN construction as an eco-friendly cultivation system and estimate organic matter and phosphorus pollutant loading reduced by SMART FCN. The research was done at Cirata Reservoir in October–December 2019. The research using FCN with size 6x6 m with depth 4.5 m. The nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) seed used was 15 kg with an average weight is 22.5 g/ind or with a density 7 ind/m³ or 775 fish total. It was feeding as much as 5% of the fish weight and three times per day. The average fish growth rate is 1.6 g/day with a food conversion ratio is 1.41, with a harvest biomass is 104.0 kg. FCR decreasing can reduce organic matter (OM) and total phosphorus for each ton of fish by 200 kg OM and 50.8 kg P, respectively. The filtration effectiveness of water spinach to decreasing P-PO₄, BOT, NO₂, and N-NO₃ were 33.2, 31.2, 31.0, and 40.3%, respectively.*

INFORMASI ARTIKEL

Histori artikel:

Diterima 17 Februari 2021

Disetujui 24 Juni 2022

Diterbitkan 31 Juli 2022

Kata kunci:

KJA SMART

Budidaya

Nila

Ramah lingkungan

ABSTRAK

Kegiatan budidaya dengan keramba jaring apung (KJA) di perairan waduk dan danau telah berkembang pesat dan cenderung melebihi daya dukung perairan. Sisa pakan dan metabolisme ikan yang terbuang ke perairan menyebabkan degradasi kualitas air. Oleh karena itu perlu adanya suatu upaya mengurangi beban pencemaran yang berasal dari kegiatan budidaya yang dapat dilakukan dengan sistem budidaya KJA SMART. KJA SMART adalah sistem manajemen air dengan resirkulasi dan tanaman air sebagai inovasi KJA konvensional yang sudah ada. Tujuan dari penulisan ini adalah untuk menyajikan konstruksi KJA SMART sebagai teknologi budidaya ramah lingkungan serta mengestimasi pengurangan beban pencemaran bahan organik dan fosfor total (P) dengan penerapan sistem KJA SMART. Penelitian dilakukan di Waduk Cirata pada bulan Oktober-Desember 2019. Kolam yang digunakan berukuran 6x6 m dengan kedalaman 4,5 m. Benih ikan nila (*Oreochromis niloticus*) yang digunakan sebanyak 15 kg dengan berat rata-rata 22,5 g/ekor atau dengan kepadatan 7 ekor/m³ atau total 775 ekor. Pakan yang diberikan sebanyak 5% dari berat ikan dengan frekuensi pemberian sebanyak tiga kali dalam satu hari. Laju pertumbuhan ikan nila rata-rata yang dipelihara adalah 1,6 g/hari dengan rasio konversi pakan (FCR) sebesar 1,41 dengan produksi 104,0 kg. Penurunan nilai FCR dapat mengurangi beban pencemaran bahan organik total (BOT) dan fosfor total untuk setiap satu ton panen ikan masing-masing sebanyak 200 kg BOT dan 50,8 kgP. Efektivitas filtrasi tanaman kangkung dalam menurunkan konsentrasi P-PO₄; BOT; NO₂; dan N-NO₃ masing-masing sebesar 33,2; 31,2; 31,0; dan 40,3%.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kegiatan budidaya merupakan pemanfaatan sekunder dari pembangunan waduk seperti juga perikanan tangkap dan wisata. Namun aktivitas budidaya di perairan waduk dan danau dianggap sebagai sumber pencemaran yang menyebabkan degradasi kualitas air. Dampak negatif dari kegiatan budidaya yang melebihi daya dukung adalah eutrofikasi atau penyuburan perairan (Schindler, 2017). Eutrofikasi ditandai oleh penurunan kecerahan dan konsentrasi oksigen terlarut, meningkatnya konsentrasi nutrisi nitrogen (N) dan fosfor (P) (Dhabi & Dzorvakpor, 2015; Lukman *et al.*, 2015; Pereira *et al.*, 2012). Kegiatan budidaya dapat menjadi alternatif alih profesi bagi masyarakat sekitar badan air yang terdampak pembangunan waduk (Putri & Anna, 2014; Putri *et al.*, 2019). Sisa pakan dan metabolisme ikan merupakan sumber pencemaran nutrisi dan bahan organik di perairan di mana kegiatan budidaya tersebut berlangsung (Islam & Yasmin, 2014). Dekomposisi bahan organik akan menyebabkan penurunan konsentrasi oksigen terlarut di perairan (Warsa & Astuti, 2020). Hal ini akan menyebabkan kematian massal ikan ketika terjadi pembalikan massa air (*upwelling*) (Suwedi *et al.*, 2015).

Adanya pelarangan pemanfaatan waduk baru untuk kegiatan budidaya misalnya di Waduk Jatigede, Sumedang telah menimbulkan konflik sosial. Rencana pengurangan jumlah keramba jaring apung (KJA) di Waduk Kaskade Sungai Citarum dalam Program Citarum Harum juga menimbulkan keresahan bagi pembudidaya dan masyarakat sekitar. Pelarangan dan rasionalisasi kegiatan budidaya ikan di perairan danau atau waduk karena kegiatan tersebut dianggap sebagai sumber pencemaran yang menyebabkan penurunan kualitas air. Oleh karena itu perlu adanya suatu teknologi yang ramah lingkungan yang memungkinkan kegiatan budidaya tetap berlangsung namun tidak berdampak negatif terhadap perairan serta fungsi lain dari badan air sebagai penyedia air minum, pembangkit listrik serta sarana wisata. Beberapa inovasi teknologi KJA ramah lingkungan yang telah ada antara lain jaring ganda (Triyanto *et al.*, 2015), sistem resirkulasi air dengan biofilter tumbuhan (Damanik *et al.*, 2018; Effendi *et al.*, 2015) dan penampung pakan (Tanjung & Hamdani, 2015). KJA SMART menggabungkan teknik penampung pakan dengan bahan kedap air dan resirkulasi air yang juga dapat diaplikasikan pada jaring ganda.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk menyajikan konstruksi KJA SMART sebagai alternatif teknologi budidaya ramah lingkungan serta mengestimasi pengurangan beban pencemaran bahan organik dan fosfor total (P) dengan penggunaan KJA SMART dalam kegiatan budidaya.

2. METODE

2.1 Bahan

Kolam yang digunakan dalam penelitian ini adalah kolam budidaya konvensional jaring tunggal dengan ukuran 6x6x4,5 m. Jaring yang digunakan terbuat dari benang nilon

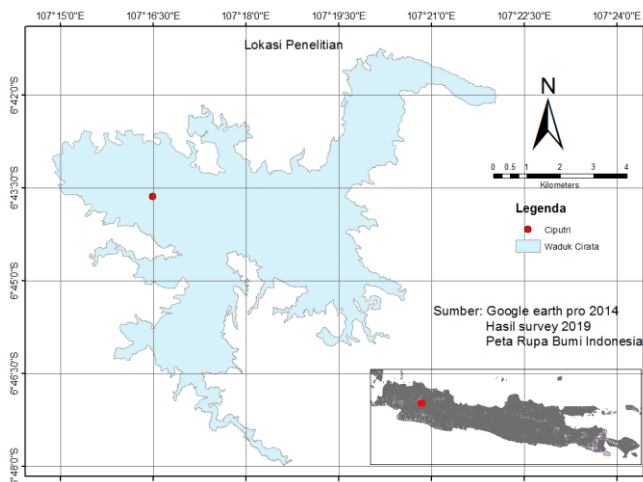
D 45 dengan ukuran mata jaring 1,25 inci. Untuk menjadi KJA SMART maka kolam KJA konvensional ditambahkan dengan sistem akuaponik, *torn* penampung sisa pakan, dan kolam penampung sisa pakan. Untuk sistem KJA SMART, penampung sisa pakan kedap air dibuat dari bahan plastik *geomembran* kedap air dengan ukuran 6x6x3 m yang dipasang pada bagian bawah kolam jaring (kolam pemeliharaan ikan) dengan bantuan tali. Pada bagian atas kolam jaring dipasang terpal dengan ukuran 6x6x0,5 m yang berfungsi untuk mencegah pakan agar tidak keluar KJA.

Ikan yang digunakan pada penelitian ini adalah ikan nila (*Oreochromis niloticus*) sebanyak 15 kg dengan berat berkisar 11–55 g/ekor ($\pm 22,5$ g/ekor) dengan kepadatan 7 ekor/m³. Pakan yang digunakan adalah pakan pelet dengan kandungan protein dan fosfor masing-masing sebesar 27–29% dan 1,5%. Bak penampung hasil penyedotan sisa pakan adalah *torn* plastik dengan volume 250 L. Tanaman yang digunakan untuk filtrasi adalah kangkung. Pipa paralon PVC digunakan sebagai tempat meletakkan tanaman kangkung (*Ipomoea aquatica*).

2.2 Metode

Aktivitas atau kegiatan budidaya di perairan danau dan waduk dianggap sebagai sumber pencemaran yang menyebabkan degradasi kualitas air. Sumber pencemaran tersebut berasal dari sisa pakan dan sisa metabolisme ikan yang terbuang. Oleh karena itu, perlu adanya suatu upaya untuk mengurangi beban cemar ke perairan yang berasal dari kegiatan tersebut. KJA SMART merupakan sistem budidaya ikan yang menggabungkan antara sistem akuaponik sebagai sarana bioremediasi dan kolam kedap sebagai penampung sisa pakan. Penyedotan sisa pakan yang dialirkan ke sistem akuaponik dengan pompa air berkapasitas 120 L/menit yang dilakukan dua kali setiap minggunya. Pipa paralon 0,5 inci digunakan sebagai saluran air yang menghubungkan kolam penampung sisa pakan dan *torn* penampung hasil penyedotan dan mengalirkan air ke tanaman kangkung.

Penelitian ini dilakukan di Waduk Cirata pada Oktober-Desember 2019 dan merupakan kelanjutan penelitian yang dilakukan di Waduk Jatiluhur pada 2014 dan 2016 (Astuti *et al.*, 2018). Lokasi penelitian merupakan zona budidaya yang terletak di Maleber (Gambar 1). KJA merupakan kolam milik Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Jawa Barat. Penimbangan berat benih ikan dilakukan untuk 20 ekor ikan dengan interval waktu pengamatan setiap dua minggu. Parameter kualitas air in situ yang diamati selama penelitian adalah suhu air, oksigen terlarut, pH, dan padatan terlarut total dengan menggunakan instrumen YSI Profesional 95. Parameter klorofil-a diamati di Laboratorium Kimia Air, Balai Riset Pemulihan Sumber daya ikan dengan metode *Tricomatic* (APHA, 2005). Pengukuran parameter kualitas air in situ dilakukan antara pukul 11:00–11:30 WIB di kolam KJA SMART dan KJA konvensional sebagai kontrol. Pakan yang diberikan sebanyak 5% dari berat ikan dan jumlah pakan yang diberikan juga dilakukan pencatatan. Berat total ikan nila hasil panen diketahui dengan menimbang keseluruhan ikan yang ada di kolam saat ikan dipanen.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Konsentrasi fosfor total (P) pada pakan dan ikan dianalisis di laboratorium Balai Besar Industri Agro (BBIA) Bogor dengan menggunakan metode Uji AOAC 986.24 (50.1.12.2005). Hasil analisis P pada pakan dan ikan tersebut akan digunakan untuk mengestimasi beban P dari aktivitas budidaya.

2.2.1 Analisis Data

Data kualitas air hasil pengukuran in situ di KJA SMART akan dibandingkan dengan baku mutu untuk kegiatan perikanan (Tabel 1).

Tabel 1. Baku mutu kualitas air untuk kegiatan budidaya

| Parameter | Baku mutu | |
|-------------------------------|-----------|---------|
| | (a) | (b) |
| Oksigen terlarut (mg/L) | ≥ 3 | ≥ 3 |
| pH | 6,0–9,0 | 6,5–9,0 |
| Suhu air (°C) | - | 25–30 |
| Total padatan terlarut (mg/L) | 25–100 | 400 |

Keterangan: (a) Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001; (b) Boyd (1990)

Nilai rasio konversi pakan (*Food Conversion Ratio*, FCR) pakan dihitung berdasarkan pendekatan Nasir & Farmer (2017) dengan persamaan sebagai berikut:

$$FCR = \frac{F_w}{I_w} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:
 F_w : Berat total pakan yang diberikan selama pemeliharaan (kg)
 I_w : Pertambahan bobot total ikan panen (kg)

Laju pertumbuhan harian (*Daily Weight Gain/DWG*) ikan nila dihitung berdasarkan bobot ikan dengan persamaan dari Hopkins (1992) sebagai berikut:

$$DWG = \frac{F_w - I_w}{T_R} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:
 I_w : Bobot ikan akhir rata-rata (g)
 F_w : Bobot ikan awal rata-rata (g)
 T_R : Lamanya waktu pemeliharaan (hari)

Tingkat kelangsungan hidup (*survival rate*) ikan dihitung berdasarkan pendekatan Nasir & Farmer (2017) dengan persamaan sebagai berikut:

$$SR = \frac{(N_i - N_d)}{N_i} \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:
 SR : Kelangsungan hidup
 N_i : Jumlah ikan pada saat tebar (ekor)
 N_d : Jumlah ikan yang mati selama penelitian

Limbah fosfor yang dihasilkan dari aktivitas budidaya dihitung dengan pendekatan dari Hopkins (1992) dengan persamaan sebagai berikut:

$$LP_{ling} = P_{pakan} - P_{ikan} \dots\dots\dots (4)$$

$$LP_{pakan} = RKP \times \%P_{pakan} \times 1.000 \dots\dots\dots (5)$$

$$LP_{ikan} = \%P_{ikan} \times 1.000 \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:
 LP_{ling} = Fosfor yang terbuang ke lingkungan (kg ton ikan⁻¹)
 LP_{pakan} = Beban masukan fosfor total dari pakan (kg ton pakan⁻¹)
 LP_{ikan} = Beban masukan fosfor total dari ikan (kg ton ikan⁻¹)
 RKP = Rasio konversi pakan
 %P_{pakan} = Konsentrasi fosfor total pada pakan (%)
 %P_{ikan} = Konsentrasi fosfor total pada ikan (%)

Beban pencemaran Bahan Organik Total (BOT) dari aktivitas budidaya dihitung berdasarkan jumlah pakan yang diberikan serta produksi ikan budidaya yang dihitung berdasarkan pendekatan dari Junaidi *et al.* (2014) dengan persamaan sebagai berikut:

$$L_{BO} = JP_k - PI_k \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan:
 L_{BO} : Beban bahan organik (ton/tahun)
 JP_k : Jumlah pakan total (ton/tahun berat kering)
 PI_k : Produksi ikan total (ton/tahun berat kering)

Asumsi yang digunakan adalah berat kering ikan adalah 25% dari berat basah sedangkan berat kering pakan adalah 50% dari berat pakan yang diberikan (Schmittou, 1991).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

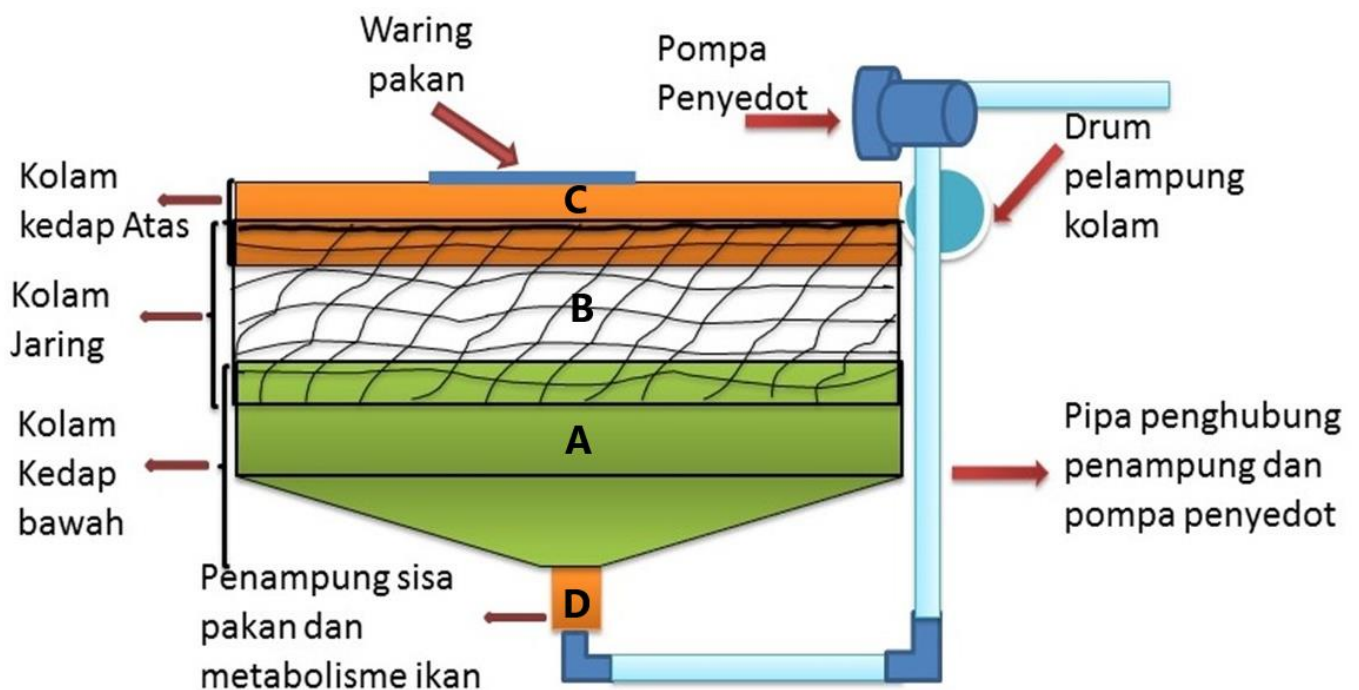
3.1 Konstruksi KJA SMART

Komponen KJA SMART dapat diaplikasi untuk KJA konvensional yang banyak digunakan oleh pembudidaya di berbagai tempat sehingga menghemat biaya pembuatan. Kelengkapan tambahan yang diperlukan untuk memodifikasi kolam konvensional menjadi KJA SMART adalah kolam kedap bagian atas dan bawah, *torii* penampung, sarana filtrasi akuaponik, dan lahan basah. Hal ini akan mengefisienkan pendanaan dalam pembuatan KJA SMART. Penelitian KJA ramah lingkungan juga pernah dilakukan yaitu kolam yang dilengkapi dengan penampung sisa pakan (kapel) untuk kegiatan budidaya di Danau Maninjau, namun terjadi penyumbatan pada penampung pakan kain (Tanjung & Hamdani, 2015). Produktivitas sistem kapel dan KJA SMART hampir sama yaitu biomassa panen yaitu tujuh dan enam kali dari jumlah benih yang ditebar, namun KJA SMART

mempunyai tingkat kelangsungan hidup yang lebih baik. Penggunaan tumbuhan sebagai biofilter serta resirkulasi air pada kegiatan budidaya merupakan sistem budidaya ramah lingkungan (Serpa & Duarte, 2008). Biofilter dengan menggunakan tanaman kangkung merupakan metode yang efektif untuk mengurangi beban nutrisi dari kegiatan budidaya (Damanik *et al.*, 2018; Effendi *et al.*, 2015).

KJA SMART merupakan kombinasi antara kegiatan budidaya dan akuaponik yaitu sistem filtrasi air pada kegiatan budidaya dengan resirkulasi air dan tanaman. Konstruksi KJA SMART terdiri dari tiga bagian besar yaitu 1) kolam untuk pemeliharaan ikan dan kolam kedap sebagai penampung sisa pakan dan metabolisme ikan 2) *torn* penampung hasil penyedotan sisa pakan dan metabolisme ikan dari kolam pemeliharaan, dan 3) Filtrasi dengan menggunakan tumbuhan kangkung. Kolam pemeliharaan

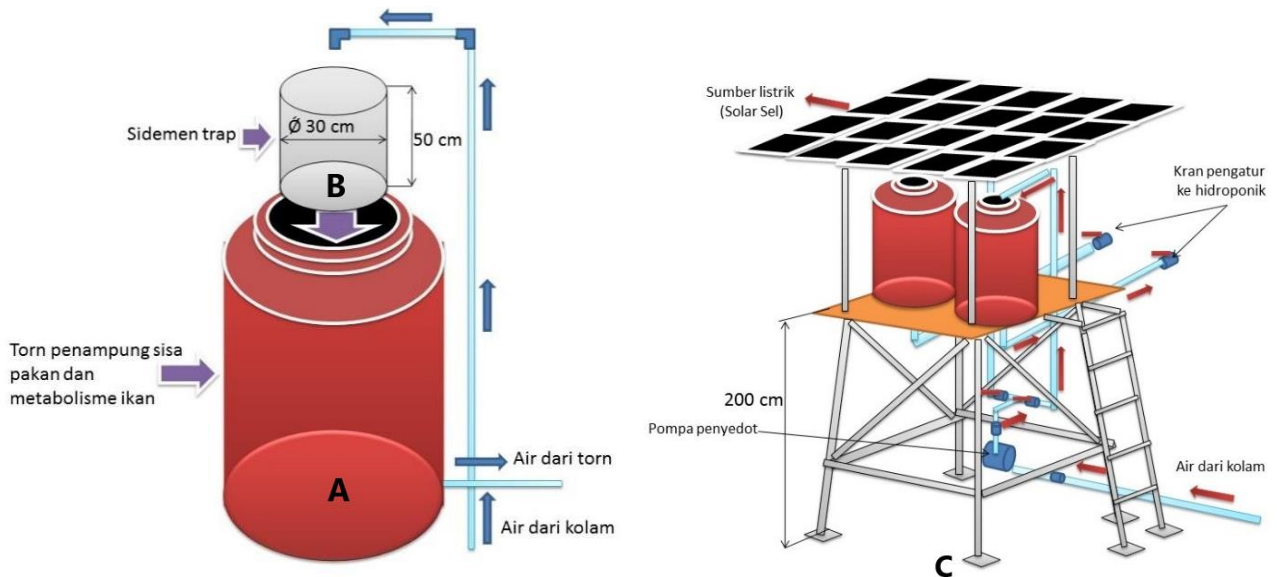
ikan pada KJA SMART terdiri dari tiga bagian yaitu kolam kedap bagian bawah yang terbuat dari *geomembran* dengan kedalaman 1,5 m (Gambar 2A), kolam jaring dengan kedalaman 3,0 m (Gambar 2B), dan lapisan kedap bagian atas yang terbuat dari terpal dengan kedalaman 0,5 m (Gambar 2C). KJA yang digunakan mempunyai ukuran panjang dan lebar masing-masing 6x6 m dengan kedalaman 4,5 m (Gambar 2). Kolam *geomembran* dilengkapi dengan pengumpul sisa pakan dan metabolisme ikan berupa pipa PVC dengan ukuran panjang 50 cm dengan diameter 12 cm (Gambar 2D). Pengumpul sisa pakan akan mempermudah penyedotan sisa pakan yang terbuang serta hasil metabolisme ikan. Ukuran dimensi kolam pemeliharaan dan kolam kedap sebagai penampung sisa pakan dapat disesuaikan dengan kebutuhan dari pembudidaya ikan.



Gambar 2. Desain kolam pemeliharaan ikan pada KJA SMART

Penampung sisa pakan atau metabolisme ikan dan pompa penyedot dihubungkan dengan pipa paralon 0,5 inci. Penyedotan sisa pakan dilakukan tiga hari sekali yang dialirkan ke dalam dua buah *torn* dengan volume 250 L sebagai wadah inkubasi (Gambar 3A). Pada wadah inkubasi tersebut bahan organik akan terdekomposisi menjadi nutrisi yang siap digunakan sebagai pupuk yang menjadi sumber nutrisi oleh tumbuhan. *Torn* penampung tersebut dilengkapi dengan saringan berbentuk silinder yang terbuat dari kain hapa berukuran pori 0,3 mm dengan diameter 30 cm dan

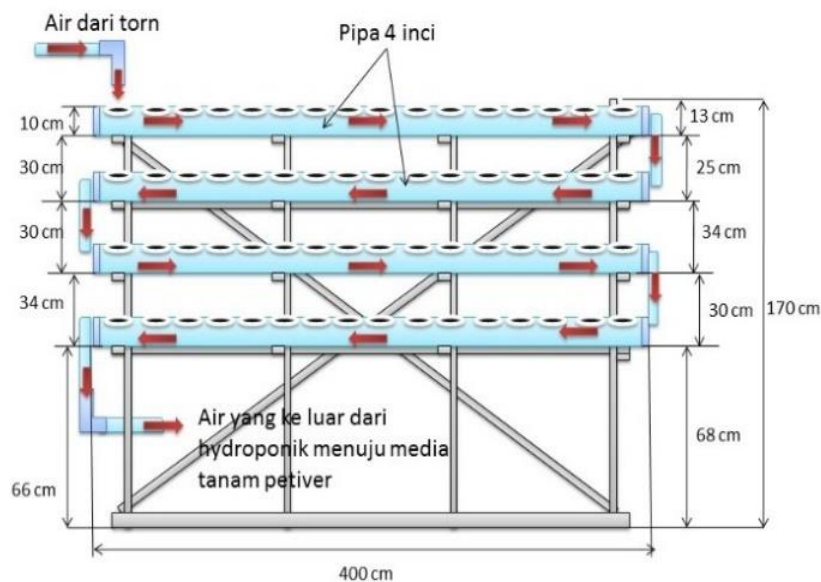
tinggi 50 cm. Saringan tersebut berfungsi untuk memisahkan partikel kasar dan partikel yang tersuspensi (Gambar 3B). Partikel kasar yang tersaring akan diambil satu minggu sekali. Air dari *torn* penampung akan dialirkan ke akuaponik setelah inkubasi selama tiga hari dengan asumsi bahwa dekomposisi bahan organik menjadi nutrisi mengikuti pola dekomposisi bahan organik pada BOD₅ hari. Untuk mempercepat dekomposisi bahan organik pada bak penampung dimasukkan *bioball*.



Gambar 3. Bak penampung sebagai tempat dekomposisi bahan organik

Torn penampung diletakkan pada rak dengan ketinggian 2,0 m (Gambar 3 C) sehingga air dapat mengalir ke bagian akuaponik tanaman kangkung. Kecepatan aliran air ± 70 ml/menit dari *torn* dan pengaturan kecepatan aliran dilakukan dengan menggunakan kran. Sumber listrik yang digunakan untuk menjalankan pompa menggunakan listrik dari PLN (Perusahaan Listrik Negara). Namun, sumber listrik dapat digantikan dengan listrik tenaga surya.

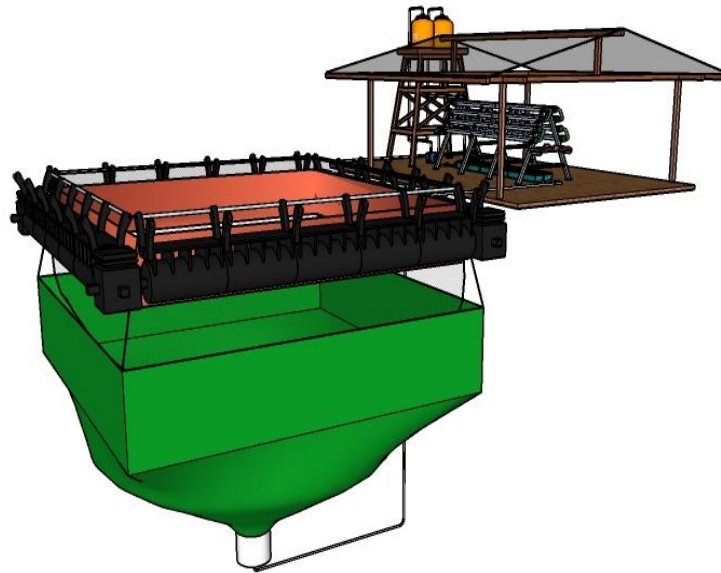
Akuaponik dengan tanaman kangkung sebagai filter yang menyerap nutrisi hasil dekomposisi bahan organik. Komponen akuaponik terdiri dari pipa paralon berdiameter 4,0 inci dengan panjang 400 cm sebanyak tujuh buah yang disusun bertingkat (Gambar 4). Pada paralon tersebut diberi lubang dengan diameter 7,0 cm dan jarak antar lubang 12 cm. Media tanaman untuk kangkung adalah arang dan sekam yang dimasukkan ke dalam gelas plastik yang telah dilubangi. Sekam dan arang juga berfungsi sebagai penyaring nutrisi.



Gambar 4. Filtrasi menggunakan tanaman kangkung

Paralon akuaponik diletakkan pada rak yang terbuat dari baja ringan yang disusun empat tingkat. Rak tersebut digunakan meletakkan tujuh buah paralon dan masing-masing paralon akuaponik dihubungkan dengan pipa paralon 1,0 inci. Adanya penyaringan bertahap oleh tanaman kangkung diharapkan konsentrasi nutrisi yang ada di air

menjadi lebih rendah. Air hasil penyaringan tanaman kangkung kemudian dikembalikan ke dalam kolam pemeliharaan ikan. Konstruksi KJA SMART secara keseluruhan disajikan pada Gambar 5.

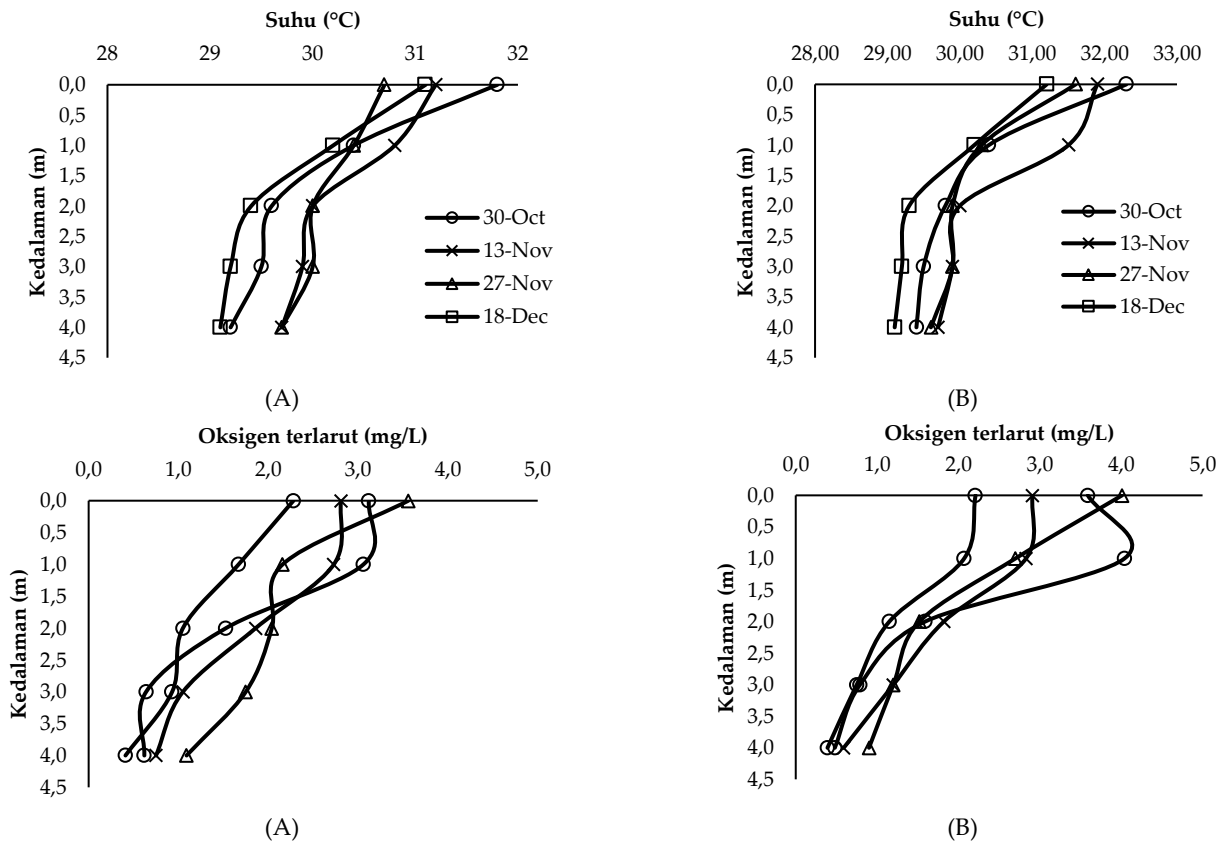


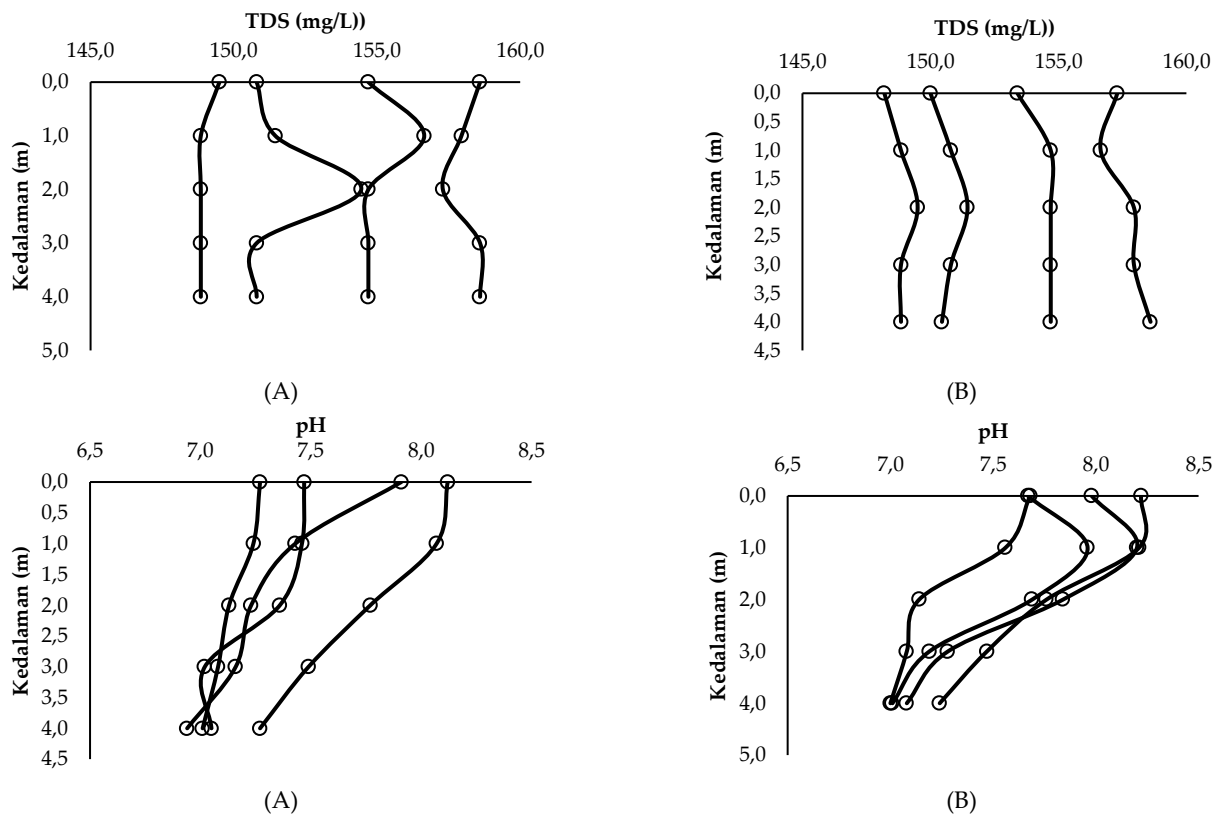
Gambar 5. KJA SMART

3.2 Kualitas air di kolam KJA SMART

Konsentrasi oksigen terlarut, pH, suhu air, total padatan terlarut, dan daya hantar listrik di kolam KJA SMART secara umum layak untuk kehidupan ikan (Gambar 6). Nilai parameter kualitas air pada KJA SMART dan konvensional

(kontrol) hampir sama meskipun KJA SMART mempunyai konstruksi lebih tertutup. Hal ini mengindikasikan bahwa sirkulasi air antara kolam dan lingkungan sekitar berlangsung dengan baik.





Gambar 6. Parameter kualitas air *in situ* di kolam (A) KJA SMART dan (B) KJA Konvensional (Kontrol)

Suhu air di kolam KJA SMART dan kontrol tidak berbeda signifikan yaitu 29,1–31,8 dan 29,1–32,3 °C dan semakin menurun dengan meningkatnya kedalaman perairan. Konsentrasi oksigen terlarut pada kedalaman permukaan sampai dengan 2,0 m di kolam KJA SMART dan kontrol masing-masing berkisar 1,05–3,56 dan 1,15–4,04 mg/L sedangkan kedalaman 3,0–4,0 m masing-masing berkisar 0,41–1,75 dan 0,39–1,2 mg/L. Suhu air; pH; dan oksigen terlarut di kolam jaring ganda masing-masing berkisar 27,9–28,8 °C; 7,37–9,39; dan 4,30–6,40 mg/L (Triyanto *et al.*, 2015). Konsentrasi oksigen terlarut pada kolam KJA SMART lebih rendah jika dibandingkan kolam jaring ganda sebagai akibat konstruksi kolam yang lebih tertutup. Konsentrasi padatan terlarut total (TDS) pada kolam KJA SMART dan kontrol masing-masing berkisar 148,85–158,6 dan 148,2–158,2 mg/L. Nilai TDS ini yang hampir sama menggambarkan bahwa kolam KJA SMART dan kontrol memiliki kejernihan air yang sama. Air pada kolam KJA SMART dan kontrol memiliki pH yang cenderung netral yang berkisar 6,94–8,12. Konsentrasi klorofil-a di kolam KJA SMART berkisar 14,7–22,7 mg/m³ atau lebih tinggi jika dibandingkan dengan kolam kontrol yaitu berkisar 14,0–15,8 mg/m³. Hal ini menggambarkan bahwa nutrisi hasil perombakan bahan organik terakumulasi di kolam dan tidak menyebar ke lingkungan perairan waduk. Nilai beberapa parameter kualitas air pada percobaan dengan laju pertumbuhan ikan nila yang baik yaitu suhu air berkisar 25–30 °C; oksigen terlarut berkisar 3,2–4,66 mg/L; dan pH berkisar 6,0–9,0 (Khater *et al.*, 2017; Reboucas *et al.*, 2016; Abou *et al.*, 2007). Konsentrasi oksigen terlarut yang rendah akan menghambat pertumbuhan ikan (Kolding & Stefansson, 2008). Namun, secara umum kualitas air di kolam KJA SMART memenuhi baku mutu untuk kehidupan ikan nila (Tabel 1). Laju pertumbuhan ikan nila yang dipelihara di KJA

SMART lebih tinggi jika dibandingkan dengan penelitian pada kolam tanah dengan kepadatan 3–13 ekor/m² yaitu 0,27–0,57 g/hari (Kapinga *et al.*, 2014) dan sistem akuaponik yaitu 0,5 g/hari (Wijayanti *et al.*, 2019). FCR pada KJA SMART juga lebih baik jika dibandingkan dengan beberapa penelitian lainnya yaitu 1,68–2,71 (Adeoye *et al.*, 2016; Caldini *et al.*, 2011) dan teknologi keramba lapis yang merupakan teknologi ramah lingkungan lainnya yaitu 1,67–2,0 (Triyanto *et al.*, 2015).

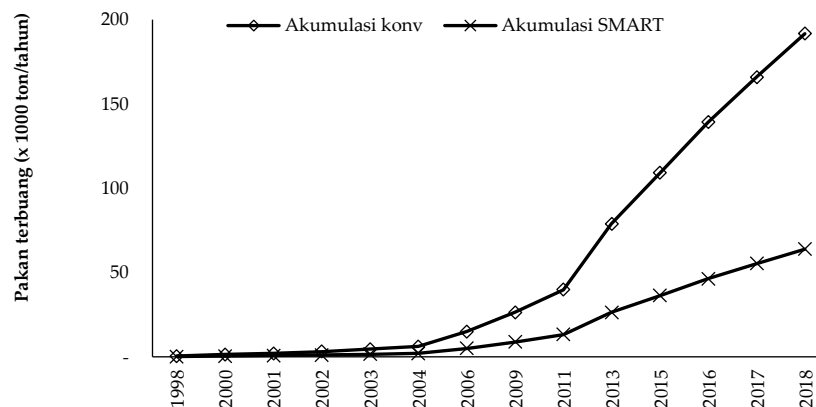
3.3 Pertumbuhan ikan dan beban nutrient

Laju pertumbuhan ikan nila di KJA SMART berkisar 0,27–3,32 g/hari FCR dengan FCR 1,41. Jumlah pakan yang diberikan selama pemeliharaan sebanyak 125 kg dengan bobot total panen ikan mencapai 104 kg atau 6 kali bobot benih ikan yang ditebar. Peningkatan bobot ikan yang dipanen pada kolam KJA SMART lebih tinggi jika dibandingkan dengan kolam jaring ganda yaitu 3 kali dari benih ikan yang ditebar (Triyanto *et al.*, 2015). Nilai FCR ikan nila dengan KJA SMART ini cukup rendah yaitu 1,41 atau untuk mencapai panen ikan sebanyak satu kilogram membutuhkan pakan sebanyak 1,41 kg atau 72% pakan yang diberikan akan dikonversi menjadi berat ikan yang dipanen. Nilai FCR pada KJA SMART (1,41) lebih kecil jika dibandingkan dengan KJA konvensional (1,51) dan KJA yang dilengkapi dengan kolam penampung limbah (Karpel) yaitu 1,45 (Tanjung & Hamdani, 2015). Laju pertumbuhan ikan nila dan hasil panen KJA SMART ini sedikit lebih rendah jika dibandingkan dengan kolam KJA karpel karena kualitas pakan yang diberikan lebih baik dengan kandungan protein sebesar 36% (Tanjung & Hamdani, 2015). Faktor input kegiatan budidaya yaitu pakan akan menentukan besaran

keuntungan yang diperoleh oleh pembudidaya dan keberlanjutan dari kegiatan budidaya selain harga benih (Putri & Anna, 2014). Jumlah pakan yang diberikan untuk menghasilkan satu ton panen ikan sebanyak 260 kg. Input biaya pakan yang dapat dikurangi jika pembudidaya menggunakan KJA SMART sebesar Rp930.000. FCR yang rendah menggambarkan jumlah pakan yang lebih sedikit dalam satu siklus produksi ikan budidaya. Nilai FCR menjadi lebih rendah karena tingginya nilai klorofil-a yang menggambarkan kelimpahan fitoplankton yang merupakan pakan alami bagi ikan nila yang dipelihara. Nilai FCR ini akan menggambarkan banyaknya beban nutrien yang terbuang ke perairan untuk setiap satu ton ikan panen. Hasil penelitian pada keramba jaring apung di Danau Kuriftu, Ethiopia menunjukkan bahwa laju pertumbuhan dan FCR ikan nila masing-masing berkisar 0,68–1,15 g/hari dengan FCR sebesar 2,48 (Gibtan *et al.*, 2008). Laju pertumbuhan dan nilai FCR akan dipengaruhi oleh padat tebar. Nilai FCR akan bertambah tinggi dengan bertambah tingginya padat tebar sedangkan laju pertumbuhan akan menurun (Gibtan *et al.*, 2008). Laju pertumbuhan dan FCR ikan nila di KJA SMART juga lebih baik jika dibandingkan dengan hasil penelitian di kolam hapa dengan laju pertumbuhan dan FCR masing-masing adalah 0,20–0,22 g/hari dan 2,42–3,80 (M'balaka *et al.*, 2012). Laju pertumbuhan ikan nila yang cepat pada KJA SMART disebabkan oleh konsentrasi klorofil-a yang tinggi. Laju pertumbuhan dan produksi ikan nila yang dipelihara secara

ekstensif dipengaruhi oleh klorofil-a (Limbu *et al.*, 2016; El Naggat *et al.*, 2008). Klorofil-a menggambarkan biomassa fitoplankton di perairan yang merupakan pakan alami ikan nila (Semyalo *et al.*, 2011).

Konsentrasi P pada pakan adalah 1,53% dan ikan 0,37% dengan beban pencemaran P yang dihasilkan dari kegiatan budidaya dengan KJA SMART yaitu 16,4 kgP/ton ikan. Nilai ini lebih kecil jika dibandingkan dengan budidaya konvensional dan KJA jaring ganda dengan beban pencemaran P sebesar 24,2 kgP/ton ikan (FCR 1,79) (Triyanto *et al.*, 2015). KJA SMART dapat mengurangi beban pencemaran P sebesar 16% untuk setiap ton produksi ikan. Hasil penimbangan pakan terbuang yang tertampung di kolam kedap bawah sebanyak 20% dari total pakan yang diberikan. Hal ini juga berdampak pada penurunan beban pencemaran P yang terbuang ke lingkungan dari pakan yang terbuang sebesar 46,8 kgP/ton ikan. Dengan demikian total beban pencemaran P yang dapat dikurangi sebanyak 50,8 kgP/ton ikan. Perubahan nilai FCR dari 1,79 menjadi 1,41 menurunkan beban pencemaran Bahan Organik Total (BOT) sebesar 120 kg BOT/ton ikan. Lapisan kedap mampu mengurangi pakan yang terbuang sebanyak 67% jika dibandingkan dengan KJA konvensional (Gambar 7). Penggunaan KJA SMART mampu mengurangi beban pencemaran BOT sebanyak 200 kg/ton ikan atau sebesar 30,8% jika dibandingkan dengan KJA konvensional.



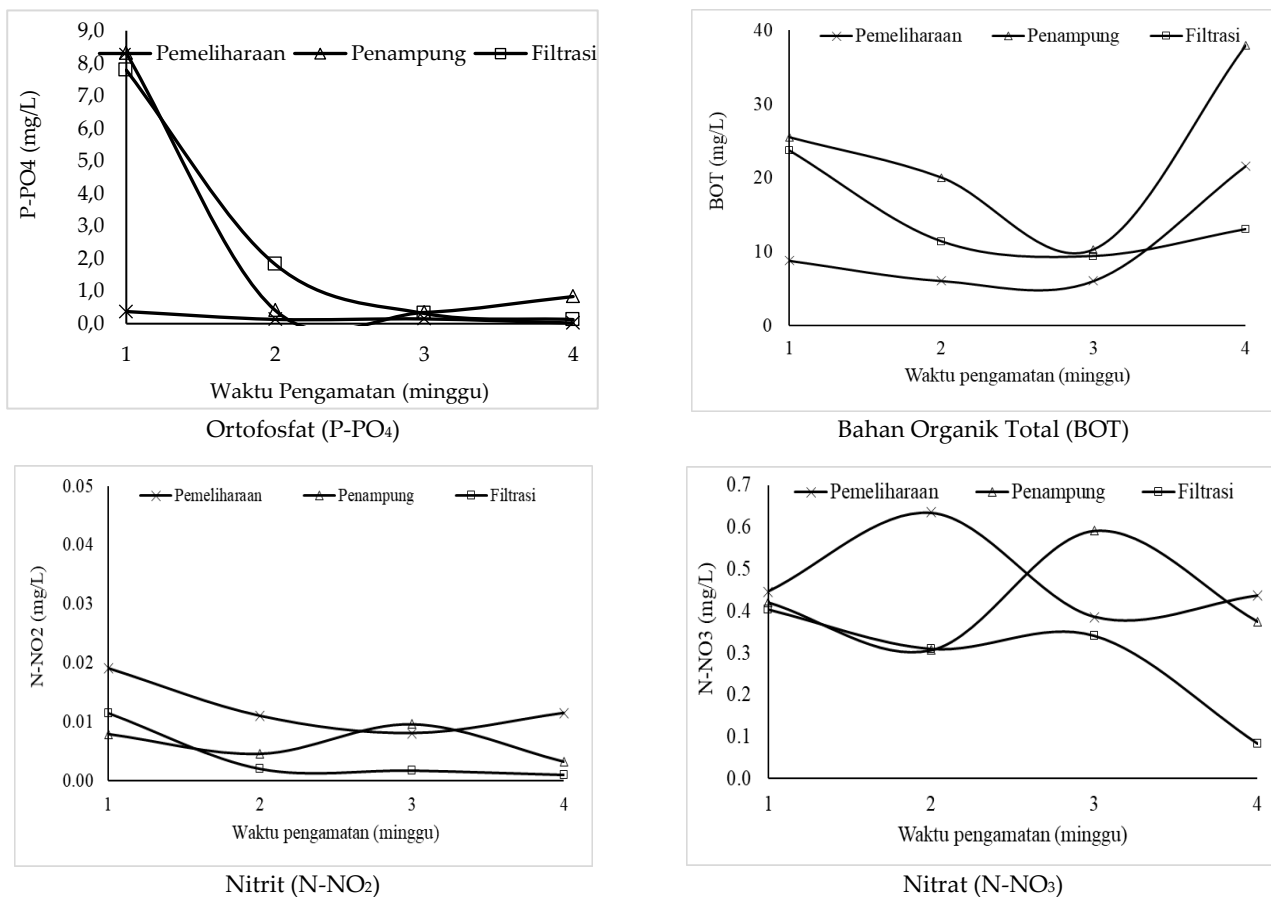
Gambar 7. Simulasi akumulasi pakan terbuang pada kegiatan budidaya

Faktor ekologi akan menentukan keberlanjutan kegiatan budidaya di Waduk Jatiluhur berdasarkan tingkat kesuburan perairan (Putri *et al.*, 2019). Produktivitas hasil budidaya akan menurun dengan tingginya tingkat kesuburan perairan. Kesuburan perairan dipengaruhi oleh beban nutrien N dan P yang masuk ke dalam perairan yang salah satunya berasal dari kegiatan budidaya. KJA SMART dilengkapi dengan sistem filtrasi menggunakan tumbuhan air dan juga penampung sisa pakan yang terdapat di bagian bawah kolam. Hal ini akan mengurangi beban masukan nutrien yang berasal dari pakan terbuang dan sisa metabolisme ikan. Kualitas air di perairan danau dan waduk sebagai lokasi budidaya akan tetap terjaga dengan berkurangnya beban cemar yang masuk ke perairan. Kualitas air yang terjaga akan menyebabkan kegiatan budidaya akan tetap berkelanjutan. Kualitas air di kolam KJA SMART menggambarkan kualitas air badan air yang merupakan lokasi budidaya, kualitas air pada

penampung (*torn*) merupakan gambaran dari kualitas air akibat budidaya yang telah terkontaminasi pencemaran yang berasal dari pakan dan feses ikan. Kualitas air hasil filtrasi dengan tumbuhan kangkung menggambarkan perbaikan kualitas air. Konsentrasi P-PO₄ di kolam pemeliharaan; penampungan; dan fitoremediasi masing-masing berkisar 0,02–0,37 mg/L (rata-rata 0,17 mg/L); 0,34–8,31 mg/L (rata-rata 2,47 mg/L); dan 0,13–7,79 mg/L (rata-rata 2,51 mg/L). Konsentrasi BOT di kolam pemeliharaan; penampungan; dan hasil filtrasi masing-masing berkisar 6,1–21,6 mg/L (rata-rata 10,5 mg/L); 10,3–38,0 mg/L (rata-rata 23,5 mg/L); dan 9,42–23,7 mg/L (rata-rata 14,4 mg/L). Konsentrasi N-NO₃ di kolam pemeliharaan; penampungan; dan filtrasi masing-masing berkisar 0,39–0,64 mg/L (rata-rata 0,48 mg/L); 0,31–0,59 mg/L (rata-rata 0,42 mg/L); dan 0,08–0,4 mg/L (rata-rata 0,29 mg/L). Konsentrasi N-NO₂ di kolam pemeliharaan; penampungan; dan filtrasi masing-masing berkisar 0,008–0,019 mg/L (rata-

rata 0,012 mg/L); 0,003–0,010 mg/L (rata-rata 0,006 mg/L); dan 0,001–0,011 mg/L (rata-rata 0,004 mg/L). Konsentrasi P-PO₄ dan BOT penampung pakan meningkat sebesar 2–4 kali sedangkan konsentrasi N-NO₂ dan N-NO₃ meningkat sebesar

2 kali jika dibandingkan dengan kolam pemeliharaan. Hal ini dapat menjadi indikasi penurunan kualitas air sebagai akibat beban nutrisi dari kegiatan budidaya (Gambar 8).



Gambar 8. Perbaikan kualitas air dengan filtrasi tanaman kangkung

Filtrasi dengan menggunakan tanaman telah menunjukkan perbaikan kualitas air jika dibandingkan dengan kualitas air di *torn*. Hal ini ditunjukkan oleh penurunan konsentrasi nutrisi P-PO₄, BOT, NO₂, dan N-NO₃. Perbaikan kualitas air terjadi pada filtrasi dengan rata-rata persentase penurunan konsentrasi P-PO₄; BOT; N-NO₂; dan N-NO₃ masing-masing sebesar 33,2; 31,2; 31,0; dan 40,3%. Kemampuan pengurangan konsentrasi nutrisi N-NO₃ pada percobaan ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan penelitian yaitu 16,1%, namun pengurangan konsentrasi P-PO₄ dan N-NO₂ lebih rendah yaitu 46,2 dan 59,8%. Perbedaan efisiensi ini disebabkan oleh perbedaan jumlah tanaman kangkung yang digunakan dalam proses fitoremediasi di mana pada penelitian hanya menggunakan 100 tanaman kangkung sedangkan pada penelitian (Astuti *et al.*, 2018) menggunakan 240 tanaman kangkung. Hal ini berkaitan dengan tumbuhan kangkung yang telah memiliki akar yang memanjang dan memenuhi pipa sehingga filtrasi nutrisi menjadi lebih baik. Penurunan yang signifikan konsentrasi nutrisi tersebut dimulai pada minggu ketiga karena pemanfaatannya sebagai pupuk oleh tanaman kangkung (Effendi *et al.*, 2015). Penurunan konsentrasi N-NO₂ dan N-NO₃ ini lebih tinggi jika bandingkan dengan filtrasi kangkung pada budidaya ikan lele (*Clarias sp.*) yaitu 25,0 dan 25,6% (Damanik *et al.*, 2018). Hal ini disebabkan oleh jumlah tanaman kangkung yang digunakan pada KJA SMART lebih

banyak jika dibandingkan dengan budidaya lele (Damanik *et al.*, 2018).

Sistem KJA SMART akan mengurangi dampak negatif dari beban nutrisi sehingga kegiatan budidaya dapat berkelanjutan. Produksi ikan budidaya akan lebih tinggi pada lokasi dengan kualitas air yang baik sehingga keuntungan menjadi lebih besar (Krismono, 1992). KJA SMART dapat menjadi salah satu pilihan sistem budidaya ikan di danau dan waduk di Indonesia dengan mempertimbangkan jumlah keramba yang beroperasi sesuai daya dukung. Penerapan KJA SMART adalah dukungan untuk Program Citarum Harum sesuai dengan Peraturan Presiden No. 15 Tahun 2018 mengenai Percepatan Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Daerah Aliran Sungai Citarum. KJA SMART mempunyai beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan beberapa sistem KJA konvensional yaitu KJA SMART dilengkapi penampung sisa pakan dan sistem filtrasi menggunakan tumbuhan air dan filter fisik; waktu pemeliharaan lebih singkat (70 hari), dan nilai FCR yang lebih kecil; menghasilkan sayuran organik sebagai produk sampingan, pengambilan sisa pakan pada penampung menjadi lebih mudah dengan bantuan pompa, kelangsungan hidup ikan nila lebih tinggi, dan mengurangi dampak kematian massal akibat *upwelling*.

4. KESIMPULAN

KJA SMART merupakan sistem budidaya yang ramah lingkungan yang mampu mengurangi beban pencemaran akibat dari menurunnya nilai FCR dan efisiensi filtrasi dengan tumbuhan kangkung serta pengurangan jumlah pakan terbuang ke perairan dengan penggunaan kolam kedap penampung sisa pakan. Pengurangan beban fosfor dan bahan organik total sebagai akibat penurunan nilai FCR masing-masing sebesar 16,0 dan 30,8%. Filtrasi dengan tumbuhan kangkung dapat mengurangi beban P-PO₄; BOT; NO₂; dan N-NO₃ masing-masing sebesar 33,2; 31,2; 31,0; dan 40,3%. Laju pertumbuhan ikan nila yang dipelihara pada kolam KJA SMART adalah 1,6 g/hari dengan produktivitas sebesar 6 kali dari jumlah benih yang ditebar dan kelangsungan hidup sebesar 87%.

PERSANTUNAN

Data dari publikasi ini adalah bagian dari penelitian "Pengembangan KJA SMART di Waduk Cirata". Semua penulis adalah kontributor utama.

DAFTAR PUSTAKA

- Abou, Y., Fiogbe, E. D., & Micha, J. M. (2007). Effect of stocking density on growth, yield and profitability of farming Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L., fed *Azolla* diet, in earth ponds. *Aquaculture Research*, 38(6), 595-604.
- Adeoye, A. A., Jaramillo-Torres, A., Fox, S.W., Merrifield, D.L., & Davies, S.J. (2016). Supplementation of formulated diets for tilapia (*Oreochromis niloticus*) with selected exogenous enzymes: Overall performance and effects on intestinal histology and microbiota. *Animal Feed and Technology* 215,133-143.
- APHA (American Public Health Association). (2005). *Standard Methods for the examination of Water and Waste Water Including Bottom Sediment and Sludges. 21st edition*. In: Eaton AD, Clesceri LS, Rice EW, Grennberg AE. Amer. Publ. Health Association Inc. New York. 1296p.
- Astuti, L.P., Hendrawan, A.L.S., & Krismono. (2018). Pengelolaan kualitas perairan melalui penerapan budidaya ikan dalam keramba jaring apung "SMART". *Jurnal Kebijakan Perikanan Indonesia*, 10(2), 87-97.
- Boyd, C.E. (1990). *Water quality in ponds for aquaculture*. Birmingham Publishing Co. 482.
- Caldini, N.N., Reboucas, V.T., de Holanda Cavalcante, D., Martins, R.B., & do Carmo e Sa, M.V. (2011). Water quality and Nile tilapia growth performance under different feeding schedules. *Acta Scientiarum Animal Sciences* 33(4), 427-430.
- Damanik, B.H., Hamdani, H., Riyantini, I., & Herawati, H. (2018). Uji efektivitas biofilter tanaman air untuk memperbaiki kualitas air pada sistem akuaponik ikan lele sangkuriang (*Clarias gariepinus*). *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 9(1), 14-142.
- Dhabi, M., & Dzorzakpor, S.E.A. (2015). The impact of aquaculture on the environment: A Ghanaian Perspective. *The International Journal of Science & Technology*, 3(7), 106-113.
- Effendi, H., Utomo, B.A., Darmawangsa, G.M., & Karo-karo, R.E. (2015). Fitoremediasi limbah budidaya ikan lele (*Clarias* sp.) dengan kangkung (*Ipomeae aquatic*) dan pakcoy (*Brassica rapa chinensis*) dalam sistem resirkulasi. *Ecolab*, 9(2),80-92.
- El Naggat, G.O., Ibrahim, N.A., & Zead, M.Y.A. (2008). Influence of Fertilizers type and stocking density on water quality and growth performance of Nile tilapia-african catfish in polyculture system. *International Symposium on Tilapia in Aquaculture*, 157-171.
- Gibtan, A., Getahun, A., & Mengistou, S. (2008). Effect of stocking density on the growth performance and yield of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L., 1758) in a Cage culture system in Lake Kuriftu, Ethiopia. *Aquaculture Research*, 39(13), 1450-1460.
- Hopkins, K.D. (1992). Reporting fish growth: A Review of the basics. *Journal of World Aquaculture Society*, 23(3), 137-179.
- Islam, M., & Yasmin, R. (2017). Impact of aquaculture and contemporary environmental issues in Bangladesh. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 5(4), 100-107.
- Junaidi., Syandri, H., & Azrita. (2014). Loading and distribution of organic materials in Maninjau Lake West Sumatra Province-Indonesia. *Journal Aquaculture Research and Development*, 5(7), 1-4.
- Kapinga, I., Mlaponi, E., & Kasozi, N. (2014). Effect of stocking on the growth performance sex reserved male Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) under pond conditions in Tanzania. *World Journal of Fish and Marine Sciences*, 6(2), 156-161.
- Khater, E.G., Ali, S.A., & Mohamed, W.E. (2017). Effect of water temperature on masculinization and growth of Nile Tilapia fish. *Journal Aquatic Research Development*, 8(9), 1-5.
- Kolding, J., Haug, L., & Stefansson, S. (2008). Effect of ambient oxygen on growth and reproduction in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 65(7), 1413-1424.
- Krismono. (1992). Hubungan antara tingkat trofik dengan produksi keramba jaring apung mini di suatu badan air. *Bull. Pen. Perikanan*, 1: 45-50.
- Limbu, S.M., Shoko, A.P., Lamtane, H.A., Kische-Machumu, M.A., Joram, M.C., Mbonde, A.S., Mgana, H.F., & Mgaya, Y.D. (2016). Supplemental effects of mixed ingredients and rice bran on the growth performance, survival and yield of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* reared in fertilized earthen ponds. *SpringerPlus*, 5(1), 1-13.
- Lukman, Setyobudiandi., Muschsin, I., & Hariyadi, S. (2015). Impact of cage aquaculture on water quality condition in Lake Maninjau, west Sumatera Indonesia. *International Journal of Science: Basic and Applied Research*, 23(1), 120-137.
- M'balaka, M., Kassam, D., & Rusuwa, B. (2012). The effect of stocking density on the growth and survival of improved and unimproved strains of *Oreochromis shiranus*. *Egyptian Journal of Aquaculture Research*, 38, 205-211.

- Nasir, N.A.B., & Farmer, K.W. (2017). Effect of different artificial light colors on the growth of juveniles common carp (*Cyprinus carpio*). *Mesopotemia Environmental Journal*, 3(3), 79-86.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran.
- Pereira, J.S., Mercante, C.T.J., & Lombardi, J.V. (2012). Eutrophication process in a system used for rearing the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), Sao Paulo State, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 24(4), 387-396.
- Putri, I.A.P., & Anna, Z. (2014). Efisiensi dan optimisasi input budidaya ikan mas keramba jaring apung di Waduk Cirata. *Jurnal Kebijakan Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan*, 4(1), 77-92.
- Putri, M.A., Affandi, R., Setyobudi, I., & Yulianto, G. (2019). Status keberlanjutan perikanan budidaya keramba jaring apung (KJA) di Waduk Jatiluhur, Kabupaten Purwakarta. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 9(3), 771-786.
- Reboucas, V.T., Dos Santos Lima, F.R., de HolandaCavalcante, D., & do Carmo e Sa, M. V. (2016). Reassessment of the suitable range of water pH for culture of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. in eutrophic water. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 38(4), 361-368.
- Schindler, D. W. (2017). The dilemma of controlling cultural eutrophication of lakes. *Proceeding of the Royal Society B: Biological Science*, 279(1746), 4322-4333.
- Schmittou, H. R. (1991). Budidaya Keramba: Suatu metode produksi ikan di Indonesia. FRDP, Puslitbang Perikanan, Jakarta. 126.
- Semyalo, R., Rohrlack, T., Kayiira, D., Kizito, Y.S., Byarujali, S., Nyakairu, G., & Larsson, P. (2011). On the diet of Nile tilapia in two eutrophic lakes containing toxin producing cyanobacteria. *Limnologica*, 41(1), 30-36.
- Serpa, D., & Duarte, P. (2008). Impact of aquaculture and mitigation measure. *Dynamics Biochemistry, Process Biotechnology and Molecular Biology*, 2(Special Issue 1), 1-20.
- Suwedi, N., Alamsyah, A.T., Sutjiningsih, D., & Garno, Y.S. (2015). Kematian massal ikan di Waduk Cirata pada Januari 2013. *Limnotek*, 22(1), 22-31.
- Tanjung, L.R., & Hamdani, A. (2015). Kajian awal efektivitas kantong penampung limbah pada keramba jaring apung. *Oseanologi dan limnologi di Indonesia*, 14(2), 191-203.
- Triyanto., Lukman., & Meutia, A.A. (2015). Introduksi keramba jaring apung berlapis sebagai alternative system pemeliharaan ikan dalam keramba ramah lingkungan di Danau Maninjau Sumatera Barat. *Limnotek*, XII (2), 61-67.
- Warsa, A., & Astuti, L.P. (2020). Estimasi beban cemar dan laju dekomposisi bahan organik di Waduk Ir. H. Djuanda, Jawa Barat. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 21(1), 86-94.
- Wijayanti, M., Khotimah, H., Sasanti, A. D., Dwinanti, S.H., & Rarassari, M.A. (2019). Pemeliharaan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dengan sistem akuaponik di Desa Karang Endah, Kecamatan Gelumbang, Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan. *Journal of Aquaculture and Fish Health*, 8(3), 139-148.