

Penambahan garam dalam air media yang berisi zeolit dan arang aktif pada transportasi sistem tertutup benih ikan gurami *Osphronemus goramy* Lac.

The addition of salt in the water media containing zeolite and active charcoal on closed system transportation of gourami fish fry *Osphronemus goramy* Lac.

Kukuh Nirmala*, Yani Hadiroseyani, Riza Purbo Widiasto

Departemen Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga Bogor 16680
*email: kukuhnirmala@yahoo.com

ABSTRACT

Transportation of fish fry with high density in closed system will reduce levels of O₂, increasing CO₂ and NH₃, will also elevate the fish stress so that increase fish mortality. To reduce the effects of increased CO₂ and NH₃ can be applied by using zeolite and activated charcoal, while to reduce the fish stress is through the addition of salt. This study aims to determine the dose of salt added into the water containing zeolite and activated charcoal in a closed transportation system with a high fry density for 72 hours. The study was conducted two stages, namely the preliminary study and the primary study. The preliminary study involved the observation of the survival rate of fish fry during fasting, oxygen consumption rate of fish fry, the rate of total ammonia nitrogen (TAN) excretion of fish fry, and the adsorption capacity of TAN by zeolite and activated charcoal. In the primary study, fry transport simulations was carried out for 72 hours in the laboratory. Gourami fry (body length of 4 cm and body weight of 1.7 g) with the fry density of 50 fish/L were placed in the packing bag which has been filled with zeolite as much as 20 g/L and activated charcoal as much as 10 g/L. The study used a completely randomized design with five treatments and two replications: A: blank (without zeolite, activated charcoal, and salt), B: control (20 g/L zeolite+10 g/L activated charcoal), C: 20 g/L zeolite+10 g/L activated charcoal and 1 g/L salt, D: 20 g/L zeolite+10 g/L activated charcoal and 3 g/L of salt, and E: 20 g/L zeolite+10 g/L activated charcoal and 5 g/L salt. The results of preliminary study showed that the survival rate of fish fry was 100% and active swimming for five days without food, the level of oxygen consumption as much as 1340.28 mgO₂, produce NH₃ as much as 22.64 mg/L, while zeolite and activated charcoal adsorbs >50% of TAN in time of 120 seconds. In the primary study, the survival rate of fish fry during the 72-hour transportation for treatments A, B, C, D, and E, were 0%, 57%, 59%, 65% and 74%, respectively. Treatment E with survival rate of 74% was obtained at NH₃ concentration of 0.016±0.069 mg/L and CO₂ as high as 89.89 mg/L while the DO of 4.26 mg/L. The highest growth and survival rate of fry for 17 days post-transportation was treatment E, accounting to 2.95% and 100%, respectively.

Keywords: zeolite, active charcoal, closed system transportation, survival rate, gourami fish

ABSTRAK

Transportasi benih ikan sistem tertutup dengan kepadatan tinggi akan menurunkan kadar O₂, meningkatkan kadar CO₂ dan NH₃, juga akan meningkatkan stres sehingga mortalitas ikan meningkat. Untuk mengurangi peningkatan kadar CO₂ dan NH₃ dapat dilakukan dengan penggunaan zeolit dan arang aktif, sedangkan untuk mengurangi stres ikan adalah melalui penambahan garam. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan dosis penambahan garam yang tepat ke dalam air media yang mengandung zeolit dan arang aktif dalam transportasi benih dengan kepadatan tinggi secara tertutup selama 72 jam. Penelitian dilakukan dua tahap, yaitu penelitian pendahuluan dan penelitian utama. Penelitian pendahuluan meliputi pengujian tingkat kelangsungan hidup benih ikan uji selama pemuasaan, tingkat konsumsi oksigen benih ikan uji, laju ekskresi total amoniak nitrogen (TAN) benih ikan uji, dan pengujian kapasitas adsorpsi dari zeolit dan arang aktif terhadap TAN. Pada penelitian utama, dilakukan simulasi transportasi benih selama 72 jam di laboratorium. Benih ikan gurami berukuran panjang tubuh 4 cm dan bobot tubuh 1,7 g dimasukkan ke dalam kantong *packing* transportasi dengan kepadatan 50 ekor/L. Air media transportasi sebelumnya telah diisi dengan zeolit sebanyak 20 g/L dan arang aktif sebanyak 10 g/L. Rancangan acak lengkap digunakan dengan lima perlakuan dan dua ulangan: A: blanko (tanpa zeolit, arang aktif, dan garam); B: Kontrol (20 g/L zeolit+10 g/L arang aktif); C: 20 g/L zeolit+10 g/L arang aktif dan 1 g/L garam; D: 20 g/L zeolit+10 g/L arang aktif dan 3 g/L garam; dan E: 20 g/L zeolit+10 g/L arang aktif dan 5 g/L garam. Hasil penelitian pendahuluan menunjukkan benih ikan uji bertahan hidup 100% dan berenang aktif selama lima hari tanpa pakan, tingkat konsumsi oksigen sebanyak

1340,28 mg O₂, menghasilkan NH₃ sebanyak 22,64 mg/L, sementara zeolit dan arang aktif mengadsorpsi >50% TAN dalam waktu 120 detik. Pada penelitian utama, tingkat kelangsungan hidup benih ikan uji selama 72 jam simulasi transportasi tertutup untuk perlakuan A, B, C, D, dan E masing-masing adalah 0%, 57%, 59%, 65%, dan 74%. Perlakuan E dengan SR sebesar 74% diperoleh pada konsentrasi NH₃ air media sebesar 0,069±0,016 mg/L dan CO₂ setinggi 89,89 mg/L sedangkan DO sebesar 4,26 mg/L. Sementara itu selama 17 hari pemeliharaan pasca transportasi perlakuan E juga memperlihatkan laju pertumbuhan harian dan tingkat kelangsungan hidup tertinggi, masing-masing mencapai 2,95% dan 100%.

Kata kunci: zeolit, arang aktif, transportasi tertutup, tingkat kelangsungan hidup, ikan gurami

PENDAHULUAN

Ikan gurami *Osphronemus goramy* merupakan salah satu komoditas unggulan pemerintah di sektor Perikanan dengan kenaikan produksi per tahun ditargetkan sebesar 4,9% (KKP, 2010). Sampai saat ini sentra produksi benih ikan gurami adalah Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur, sedangkan sentra pembesaran ikan ini sebagian besar berada di luar pulau Jawa, sehingga untuk mengirim benih ikan ke lokasi tersebut perlu dilakukan transportasi secara tertutup. Untuk mengefisiensikan biaya, transportasi benih dilakukan dengan kepadatan tinggi per satuan wadah, namun akan mengakibatkan turunnya kandungan O₂ air media, dan meningkatnya kadar amoniak (NH₃) dan CO₂. Ketika kadar NH₃ dan CO₂ di air media transport mencapai level jenuh, menyebabkan NH₃ dan CO₂ darah sulit untuk diekskresikan melalui insang, sehingga kadar gas toksik tersebut akan meningkat di dalam darah. Hal tersebut mengakibatkan darah benih ikan menderita hipercapnia dan acidosis, selanjutnya ikan akan kekurangan O₂ yang dapat mengakibatkan kematian.

Untuk itu perlu dicari cara agar NH₃ yang bersifat toksik ini dapat dikurangi konsentrasinya, diantaranya dengan menggunakan zeolit dan arang aktif sebagai adsorban NH₃, dan juga penambahan garam (NaCl) ke dalam air media untuk mengurangi toksisitas NH₃. Penelitian Ghozali (2007) menunjukkan bahwa menambahkan zeolit 20 g/L ke dalam media transportasi ikan *maanvis* ukuran 2 g/ekor dengan kepadatan 20 ekor/L, dapat menghasilkan SR 100% dengan lama pengangkutan 120 jam. Selain itu, penelitian Ardiyanti (2007) juga menunjukkan pemberian zeolit sebanyak 10 g/L dan arang aktif sebanyak 10 g/L pada

pengangkutan ikan *coridoras* ukuran 2 g dengan kepadatan 20 ekor/L dapat menghasilkan SR sebesar 100%.

Sementara garam dalam air media transportasi bertujuan untuk menurunkan gradien tekanan osmotik antara cairan tubuh ikan dengan air media, yang diakibatkan oleh perbedaan kadar ion-ionnya. Selain itu ekskresi NH₄⁺ dari dalam darah ikan sebagian besar akan terjadi melalui pertukaran NH₄⁺ ini dengan ion Na⁺ yang ada di air media melintasi sel-sel *branchial* (Maetz, 1973), atau ekskresi NH₄⁺ atau H⁺ dari dalam darah melalui pertukaran dengan Na⁺, dan pertukaran HCO₃⁻ dalam darah dengan Cl⁻ di air media, melintasi insang (Smith, 1982).

Permintaan pasar akan benih ikan gurami umumnya yang berukuran sekitar 4 cm, dan dikirim dengan transportasi sistem tertutup dengan kepadatan pengepakan yang biasa diterapkan oleh petani benih adalah sebesar 10–15 ekor/L. Untuk menekan biaya transportasi, perlu dilakukan peningkatan kepadatan benih ikan gurami ini per satuan wadah *packing*, dengan mortalitas benih ikan tetap minimal. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan percobaan penentuan kepadatan optimum transportasi benih gurami, dan dihasilkan kepadatan optimum sebesar 40 ekor/L (Maria, 2010). Namun dalam penelitian tersebut belum dilakukan teknologi penambahan garam untuk menyediakan kondisi isoosmotik dan ketersediaan ion Na⁺ dan Cl⁻ untuk pertukaran dengan NH₄⁺ dan HCO₃⁻. Dengan penambahan garam, diharapkan kepadatan benih ikan uji yang ditransportasi dapat lebih ditingkatkan lagi (>40 ekor/L).

Untuk itu diperlukan penelitian lebih lanjut tentang penentuan kepadatan benih ikan gurami yang optimum pada transportasi benih ikan gurami dengan sistem tertutup,

dengan memberikan garam ke dalam air media transpor dengan tujuan menekan angka kematian ikan akibat kepadatan benih yang ditingkatkan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan dosis penambahan garam ke dalam air media transportasi yang mengandung zeolit dan arang aktif, dengan kepadatan benih yang tinggi, untuk mendukung kelangsungan hidup benih selama 72 jam ditransportasikan secara tertutup.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini terbagi dalam dua tahap. Tahap pertama adalah penelitian pendahuluan meliputi uji ketahanan hidup ikan uji saat dipuasakan yang dilakukan selama delapan hari, untuk memastikan jika ada mortalitas ikan selama waktu transportasi tertutup, bukan karena tidak diberi pakan, namun akibat kombinasi kualitas air media yang memburuk dan stres ikan; tingkat konsumsi oksigen benih ikan uji; laju ekskresi total amoniak nitrogen (TAN) benih ikan gurami uji; dan kapasitas zeolit dan juga arang aktif dalam mengadsorpsi $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$. Tahap kedua adalah penelitian utama yaitu mengevaluasi efektivitas zeolit, arang aktif, dan garam dalam mempertahankan kelangsungan hidup benih ikan gurami selama transportasi tertutup dengan kepadatan tinggi; kadar amoniak air media; dan laju pertumbuhan benih ikan uji pada pemeliharaan pasca simulasi pengangkutan.

Penelitian pendahuluan

Tingkat kelangsungan hidup benih ikan uji selama pemuasaan

Uji ini dilakukan dengan penyiapan akuarium ukuran $50 \times 30 \times 30 \text{ cm}^3$ yang diisi air dengan volume 37,5 L dan diberi aerasi. Ikan uji dengan panjang tubuh sekitar 4 cm dan bobot sekitar 1,7 g/ekor sebanyak 30 ekor diaklimatisasi selama 15 menit dan selanjutnya dipelihara di dalam akuarium selama delapan hari. Pergantian air sebanyak 30–50% dilakukan setiap hari, kemudian tingkah laku ikan uji diamati dan dicatat. Pengujian dilakukan dengan dua ulangan. Selama pemuasaan ikan dilakukan

pengukuran kualitas air yaitu suhu, pH, dan kadar oksigen terlarut.

Tingkat konsumsi oksigen benih ikan uji

Pengukuran tingkat konsumsi oksigen (TKO) benih ikan uji dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui besarnya konsumsi oksigen ikan sehingga dapat diketahui jumlah oksigen yang dibutuhkan ikan uji selama transportasi. Pengukuran tingkat konsumsi oksigen dilakukan pada stoples volume 3,5 L yang diisi air sebanyak 3 L dan diberi aerasi selama tiga hari agar kandungan oksigen di dalam air mencapai kadar jenuh. Ikan uji sebanyak sepuluh ekor kemudian dimasukkan ke dalam stoples yang ditutup rapat dengan plastik hingga tidak terdapat celah udara dan dilakukan pengukuran kadar oksigen terlarut (*dissolved oxygen*, DO) dengan menggunakan DO-meter setiap satu jam sekali selama enam jam.

Laju ekskresi total amoniak nitrogen (TAN) benih ikan uji

Pengukuran laju ekskresi TAN ikan uji dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kadar TAN yang diekskresi oleh ikan uji sehingga dapat diketahui jumlah amoniak yang dikeluarkan selama transportasi. Pengukuran laju ekskresi TAN terlebih dahulu dilakukan dengan pengukuran bobot dan panjang total tubuh benih ikan uji, kemudian sebanyak sepuluh ekor benih tersebut dimasukkan ke dalam stoples kaca berisi air dengan volume 3 L. Sebelumnya air yang digunakan telah diaerasi selama tiga hari sehingga kadar oksigen didalam media diharapkan mencapai level jenuh. Kemudian dilakukan pengambilan air sampel sebanyak 30 mL setiap 12 jam selama 48 jam untuk pengukuran konsentrasi TAN, suhu, pH, dan kadar oksigen terlarut.

Kapasitas adsorpsi TAN dari zeolit dan arang aktif

Penentuan kapasitas adsorpsi zeolit dan arang aktif ini bertujuan untuk mengetahui jumlah TAN yang mampu diadsorpsi oleh kedua adsorban tiap satuan waktu tertentu. Proses pengukuran dilakukan dengan cara penyiapan botol plastik yang ujungnya telah dilubangi dengan jarum. Kemudian satu

botol tersebut diisi dengan zeolit sebanyak 20 g dan satu botol lainnya dengan arang aktif sebanyak 10 g. Selanjutnya air yang mengandung TAN 1 mg/L dengan volume 1 L dialirkan pada masing-masing botol, dan di bawah botol diletakkan gelas piala untuk menampung aliran air yang mengalir keluar dari kedua botol tersebut. Langkah ini dilakukan setiap satu menit selama tujuh menit. Sampel air tersebut kemudian diambil untuk diukur kadar TAN, pH, dan suhu.

Penelitian utama

Prosedur penelitian utama dilakukan dengan memuasakan ikan uji selama dua hari. Kemudian menyiapkan kantong plastik *packing* dengan ujung kantong *packing* tersebut diikat dengan dua kantong kecil dari kasa yang masing-masing berisi zeolit (20 g) dan arang aktif yang terbuat dari batok kelapa (10 g), sementara ujung lainnya diikat dengan keran yang berfungsi untuk pengambilan sampel air. Kantong *packing* diisi air sebanyak 1,3 L yang sebelumnya telah dicampur dengan garam krosok sebanyak 1 g/L; 3 g/L; dan 5 g/L sesuai dengan perlakuan. Kemudian benih ikan uji dengan panjang tubuh ± 4 cm dan bobot $\pm 1,7$ g/ekor sebanyak 50 ekor dimasukkan ke dalam kantong *packing*. Ke dalam kantong *packing* dimasukkan oksigen murni dengan perbandingan volume udara dan volume air kantong *packing* sebesar 1:4, kemudian ujung kantong *packing* diikat dengan karet pengikat dan dimasukkan ke dalam *box styrofoam* berukuran panjang 40 cm lebar 25 cm, tinggi 27 cm dan tebal 2,5 cm. *Box styrofoam* tersebut diisi dengan es batu sampai temperatur udara di dalam *box styrofoam* mencapai sekitar 25 °C. Setelah itu *styrofoam* ditutup rapat, dan diguncang menggunakan alat jungkit sederhana setiap satu jam selama 15 menit sebagai simulasi guncangan akibat transportasi. Pengamatan tingkat kelangsungan hidup dilakukan setiap enam jam selama 72 jam dan kualitas air diamati setiap 24 jam selama 72 jam.

Rancangan percobaan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah rancangan acak lengkap (RAL) dengan lima perlakuan dengan masing-masing perlakuan terdiri dari dua ulangan.

A : kepadatan 50 ekor/L

B : kepadatan 50 ekor/L+20 g zeolit+10 g arang aktif

C : kepadatan 50 ekor/L 20 g zeolit+10 g arang aktif+1 g/L garam

D : kepadatan 50 ekor/L+20 g zeolit+10 g arang aktif+3 g/L garam

E : kepadatan 50 ekor/L+20 g zeolit+10 g arang aktif+5 g/L garam

Adapun parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah derajat kelangsungan hidup (SR), pertumbuhan bobot harian (GR), dan data kualitas air (oksigen terlarut, nilai pH, temperatur, dan total amoniak nitrogen).

Data yang diperoleh selanjutnya diuji menggunakan analisis ragam (ANOVA) dengan uji F pada selang kepercayaan 95% menggunakan perangkat lunak SPSS 16.0. Apabila perlakuan berpengaruh nyata, untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan dilakukan uji lanjut menggunakan uji Tukey.

Pemeliharaan benih ikan uji pasca transportasi

Pemeliharaan benih ikan uji pasca simulasi transportasi dilakukan untuk mengukur adanya efek dari transportasi. Pemeliharaan ini dilakukan selama 16 hari dengan pertimbangan bahwa dampak transportasi terhadap stres ikan yang selanjutnya berdampak terhadap kelangsungan hidup ikan berlangsung sekitar dua minggu. Ikan uji sebanyak 15 ekor diaklimatisasi selama 15 menit dan dipelihara di akuarium berdimensi 50×30×30 cm³, yang telah diisi air dengan ketinggian 25 cm.

Ikan diberi pakan dua kali sehari, pada pagi dan sore hari, berupa cacing dan pelet ikan secara *at satiation*. Penyiponan kotoran ikan di akuarium dilakukan setiap pagi dan sore, dan setiap hari dilakukan pergantian air sebanyak 30%. Pengukuran panjang dan bobot tubuh ikan uji dilakukan pada awal dan akhir pemeliharaan, sedangkan perhitungan jumlah ikan yang hidup dilakukan setiap hari. Pengukuran kualitas air (pH, oksigen terlarut, suhu, dan TAN) dilakukan pada awal dan akhir pemeliharaan ikan uji pasca pengangkutan.

HASIL

Penelitian pendahuluan

Tingkat kelangsungan hidup benih ikan uji selama pemuasaan

Hasil uji kelangsungan hidup benih ikan gurami sebanyak 30 ekor selama dipuaskan menunjukkan bahwa ikan uji dapat bertahan hidup dan berenang aktif selama lima hari dengan tingkat kelangsungan hidup sebesar 100% (Tabel 1).

Tingkat konsumsi oksigen (TKO) benih ikan uji

Hasil uji terhadap benih ikan gurami dengan bobot sekitar 1,7 g diperoleh nilai TKO sebesar 0,219 mgO₂/g/jam, dengan demikian jumlah oksigen yang dibutuhkan benih ikan uji dengan kepadatan 50 ekor/L selama 72 jam adalah sebanyak 1340,28 mgO₂.

Laju ekskresi total amoniak nitrogen (TAN) benih ikan uji

Ekskresi TAN benih ikan gurami dengan

bobot 1,7 g yang didapat dari pengujian setiap 12 jam selama 48 jam diperoleh nilai sebesar 0,0037 mg TAN/L/jam. Berdasarkan data tersebut maka dapat dihitung nilai TAN yang dihasilkan oleh 50 ekor benih ikan gurami di dalam media transportasi tertutup selama 72 jam adalah sekitar 22,64 mg/L.

Kapasitas adsorpsi TAN dari zeolit dan arang aktif

Kemampuan zeolit dan arang aktif untuk mengadsorpsi TAN dari air media disajikan pada Gambar 1. Baik zeolit maupun arang aktif memiliki kemampuan untuk mengadsorpsi TAN dari air media sekitarnya.

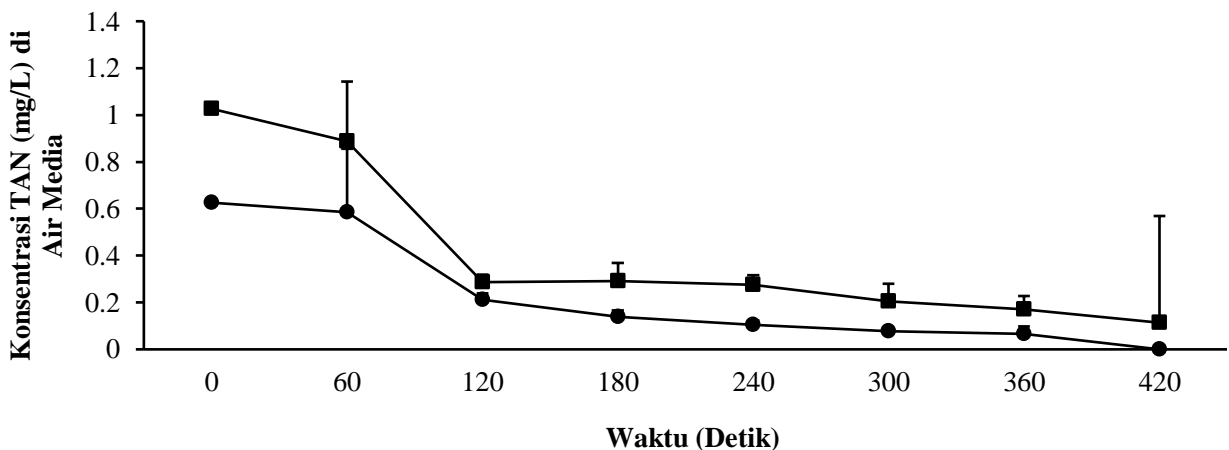
Penelitian utama

Tingkat kelangsungan hidup benih ikan uji selama transportasi tertutup

Tingkat kelangsungan hidup benih ikan uji selama simulasi transportasi tertutup dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan uji statistik tidak terdapat perbedaan nyata Tabel 2 menunjukkan bahwa SR benih ikan uji pada jam ke-0 hingga jam keenam masih

Tabel 1. Tingkat kelangsungan hidup benih ikan gurami *Osphronemus goramy* selama pemuasaan.

Hari ke-	∑ ikan hidup (ekor)	∑ ikan mati (ekor)	SR (%)	Suhu (°C)	pH	NH ₃ (mg/L)	Tingkah laku ikan
1	30	0	100	28	7,493	0,007	Berenang aktif
2	30	0	100	28	7,143	0,004	Berenang aktif
3	30	0	100	27,8	7,057	0,003	Berenang aktif
4	30	0	100	28	7,003	0,002	Berenang aktif
5	30	0	100	28	6,950	0,002	Berenang aktif
6	30	0	100	28	7,036	0,003	Berenang lemah
7	29	1	97	28	7,167	0,006	Berenang lemah
8	28	2	96	28	7,153	0,005	Berenang lemah



Gambar 1. Kapasitas adsorpsi TAN di air media oleh zeolit (—●—) dan arang aktif (—■—) yang digunakan dalam penelitian. Tidak terdapat perbedaan nyata ($p > 0,05$) antar perlakuan pada jam ke-0 hingga jam ke-12, namun terdapat perbedaan nyata ($p < 0,05$) pada jam ke-18 dan jam ke-60 sampai jam ke-72.

sebesar 100%. Kematian ikan uji mulai terjadi pada jam ke-12 untuk perlakuan A. Pada perlakuan B, C, D, dan E kematian ikan uji terjadi pada jam ke-30 dan SR terus menurun sampai jam ke-72. Kematian total ikan uji pada perlakuan A terjadi pada jam ke-24. Nilai SR pada perlakuan B, C, D, dan E bervariasi hingga akhir perlakuan. Pada akhir penelitian nilai SR tertinggi terdapat pada perlakuan E sebesar 74% dan terendah pada perlakuan B sebesar 57%.

Kualitas air media transportasi

Gambar 2 menunjukkan bahwa pada awal pengangkutan konsentrasi DO di dalam media adalah rata-rata sebesar 5,433 mg/L, namun pada jam ke-24 terjadi peningkatan DO di setiap perlakuan hingga mencapai kisaran antara 7,06–7,80 mg/L, kenaikan DO tersebut diduga karena adanya penambahan oksigen saat pengisian kantong pengangkutan dengan oksigen murni. Pada jam ke-48 kandungan DO mulai menurun hingga jam ke-72 dengan kandungan DO terendah pada perlakuan D 3,10 mg/L dan tertinggi pada perlakuan E sebesar 4,26 mg/L. Berdasarkan uji statistik pada jam ke-24 terdapat perbedaan nyata ($p < 0,05$) antara perlakuan A dan B dengan perlakuan C, D, dan E. Selain itu terdapat perbedaan yang nyata ($p < 0,05$) untuk konsentrasi DO pada akhir penelitian antara perlakuan A, B, C, dan D berbeda nyata ($p < 0,05$) dengan perlakuan E. Konsentrasi NH_3 pada air media

transportasi untuk setiap perlakuan dari jam ke-0 sampai jam ke-72 menunjukkan peningkatan dari awal sampai akhir penelitian (Gambar 3). Pada jam ke-24, konsentrasi NH_3 terendah terdapat pada perlakuan D dan E sebesar $0,033 \pm 0,00$ mg/L, dan tertinggi pada perlakuan A sebesar $0,040 \pm 0,00$ mg/L bersamaan dengan terjadinya kematian total ikan uji. Nilai NH_3 pada jam ke-72 untuk perlakuan B, C, D, dan E berkisar antara $0,050 \pm 0,00$ – $0,069 \pm 0,01$. Berdasarkan uji statistik tidak terdapat perbedaan yang nyata ($p > 0,05$) untuk konsentrasi NH_3 antar perlakuan pada jam ke-72. Konsentrasi CO_2 terlihat meningkat dari jam ke-0 (19,98 mg/L) hingga jam ke-72, dengan konsentrasi tertinggi pada perlakuan E (89,89 mg/L) dan terendah pada perlakuan B (69,92 mg/L), dengan kecenderungan berbanding lurus dengan kepadatan benih ikan uji (Gambar 4). Berdasarkan uji statistik terdapat perbedaan nyata ($p < 0,05$) antar perlakuan di akhir penelitian.

Gambar 5 menunjukkan kisaran nilai pH air media transportasi pada masing-masing perlakuan selama penelitian. Nilai pH setiap jam pengamatan relatif stabil berkisar antara 5,55–7,29. Berdasarkan analisis statistik tidak terdapat perbedaan yang nyata antar perlakuan ($p > 0,05$).

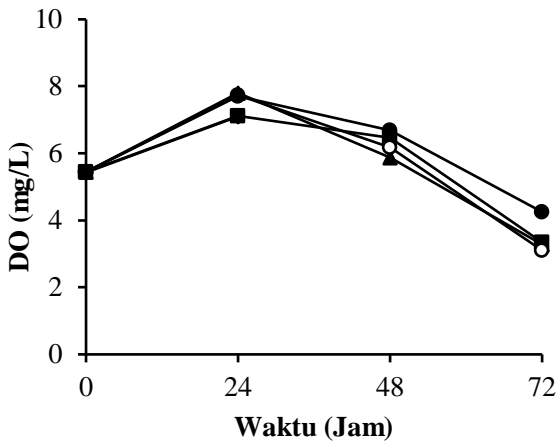
Sementara untuk suhu air media transportasi, di awal pengepakan mencapai suhu sebesar 28 °C, kemudian relatif

Tabel 2. Tingkat kelangsungan hidup benih ikan gurami *Osphronemus goramy* selama transportasi tertutup.

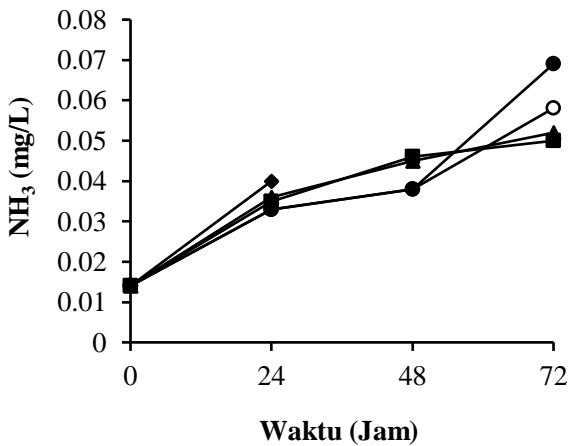
Jam ke-	Kelangsungan hidup (%) pada masing-masing perlakuan				
	A	B	C	D	E
0	100±0,00 ^a	100±0,00 ^a	100±0,00 ^a	100±0,00 ^a	100±0,00 ^a
6	100±0,00 ^a	100±0,00 ^a	100±0,00 ^a	100±0,00 ^a	100±0,00 ^a
12	96±5,65 ^a	100±0,00 ^a	100±0,00 ^a	100±0,00 ^a	100±0,00 ^a
18	55±7,07 ^b	100±0,00 ^a	100±0,00 ^a	100±0,00 ^a	100±0,00 ^a
24	-	100±0,00 ^a	100±0,00 ^a	100±0,00 ^a	100±0,00 ^a
30	-	97±4,24 ^a	98±2,82 ^a	98±0,00 ^a	98±2,82 ^a
36	-	90±11,31 ^a	95±4,24 ^a	95±1,41 ^a	95±1,41 ^a
42	-	89±12,72 ^a	93±4,24 ^a	94±0,00 ^a	94±0,00 ^a
48	-	86±14,14 ^a	88±5,65 ^a	89±1,41 ^a	93±1,41 ^a
54	-	76±11,31 ^a	81±4,24 ^a	82±8,48 ^a	87±7,07 ^a
60	-	60±2,82 ^b	62±0,00 ^b	71±1,41 ^a	74±2,82 ^a
66	-	58±2,82 ^b	61±14,14 ^b	66±2,82 ^{ab}	74±2,82 ^a
72	-	57±4,24 ^b	59±4,24 ^{ab}	65±4,24 ^{ab}	74±2,82 ^a

Keterangan: huruf superskrip yang berbeda pada setiap baris di belakang nilai standar deviasi menunjukkan perbedaan nyata ($p < 0,05$). A: kepadatan 50 ekor/L; B: kepadatan 50 ekor/L+20 g zeolit+10 g arang aktif; C: kepadatan 50 ekor/L+20 g zeolit+10 g arang aktif+1 g/L garam; D: kepadatan 50 ekor/L+20 g zeolit+10 g arang aktif+3 g/L garam; E: kepadatan 50 ekor/L+20 g zeolit+10 g arang aktif+5 g/L garam.

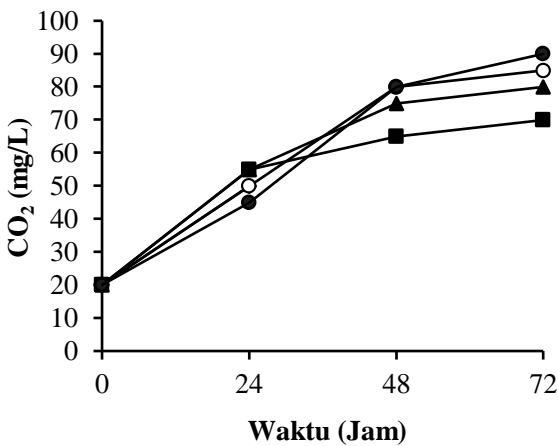
stabil dari jam ke-24 sampai akhir penelitian yang nilainya berkisar antara 24–25 °C (Gambar 6).



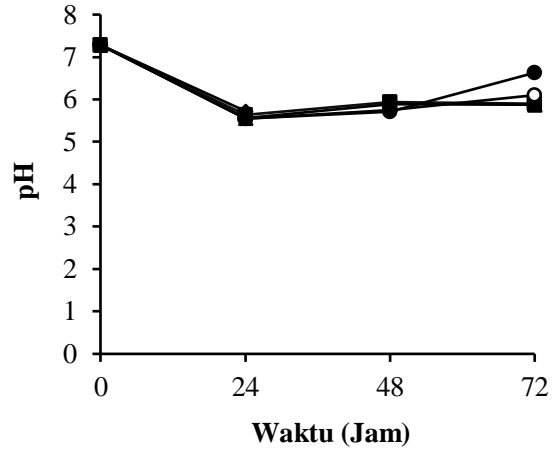
Gambar 2. Konsentrasi DO (mg/L) air media transportasi pada blanko (◆), kontrol (■), perlakuan C (▲), perlakuan D (○), dan perlakuan E (●) selama penelitian.



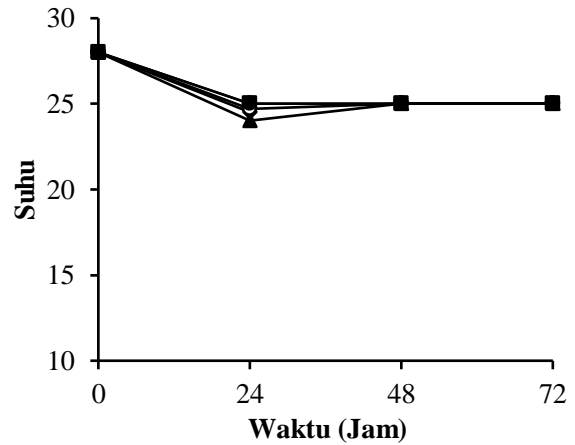
Gambar 3. Konsentrasi NH₃ (mg/L) air media transportasi pada blanko (◆), kontrol (■), perlakuan C (▲), perlakuan D (○), dan perlakuan E (●) selama penelitian.



Gambar 4. Konsentrasi CO₂ (mg/L) air media transportasi pada blanko (◆), kontrol (■), perlakuan C (▲), perlakuan D (○), dan perlakuan E (●) selama penelitian.



Gambar 5. pH air media transportasi pada blanko (◆), kontrol (■), perlakuan C (▲), perlakuan D (○), dan perlakuan E (●) selama penelitian.



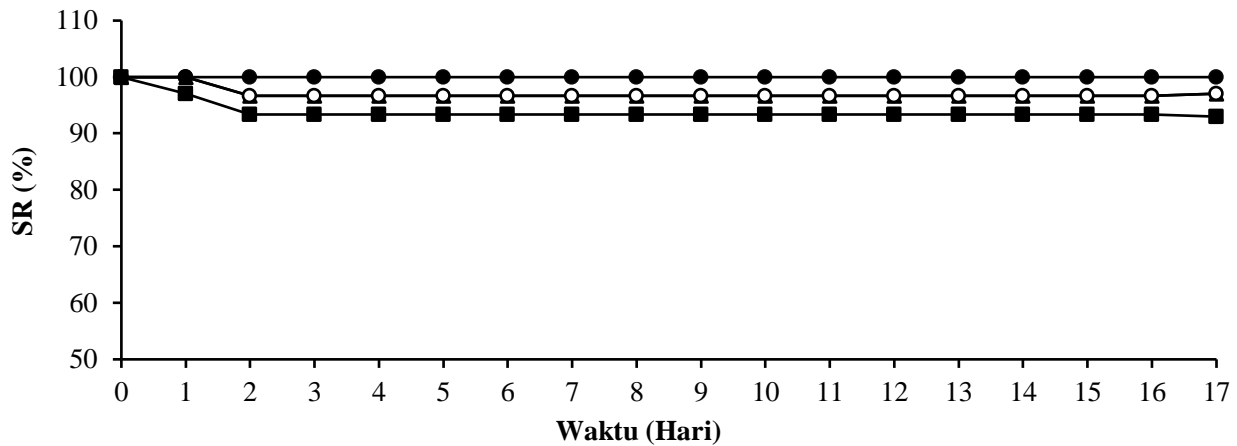
Gambar 6. Suhu (°C) air media transportasi pada blanko (◆), kontrol (■), perlakuan C (▲), perlakuan D (○), dan perlakuan E (●) selama penelitian.

Tingkat kelangsungan hidup benih ikan uji pasca simulasi transportasi.

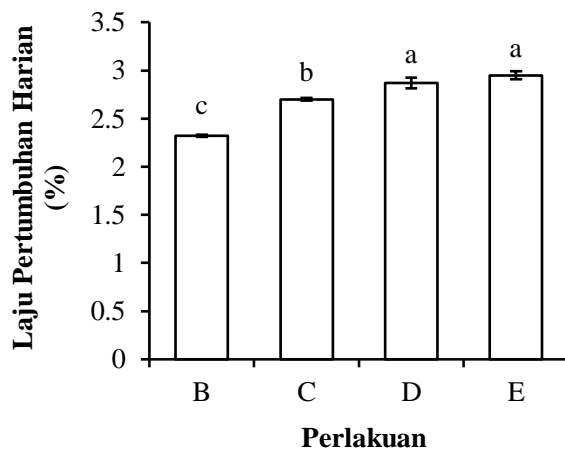
Kelangsungan hidup benih ikan gurami yang dipelihara pasca simulasi transportasi menunjukkan terjadinya kematian ikan pada perlakuan B, sehingga SR mencapai 93% (Gambar 7). Pada perlakuan C dan D terjadi kematian ikan pada hari ketiga dengan tingkat kelangsungan hidup masing-masing sebesar 97%. Sampai hari ke-17, SR tertinggi terdapat pada perlakuan E sebesar 100%.

Laju pertumbuhan harian benih ikan uji pasca simulasi transportasi

Laju pertumbuhan harian benih ikan uji pasca simulasi transportasi disajikan pada Gambar 8. Laju pertumbuhan harian tertinggi terdapat pada perlakuan E (2,95%), kemudian secara berturut-turut diikuti oleh



Gambar 7. Tingkat kelangsungan hidup (%) benih ikan gurami *Osphronemus goramy* kontrol (-■-), perlakuan C (-▲-), perlakuan D (-○-), dan perlakuan E (-●-) selama 17 hari pasca simulasi transportasi.



Gambar 8. Laju pertumbuhan harian (%) benih ikan uji pasca simulasi transportasi. Keterangan: B: kepadatan 50 ekor/L+20 g zeolit+10 g arang aktif (kontrol); C: kepadatan 50 ekor/L+20 g zeolit+10 g arang aktif+1 g/L garam; D: kepadatan 50 ekor/L+20 g zeolit+10 g arang aktif+3 g/L garam; E: kepadatan 50 ekor/L+20 g zeolit+10 g arang aktif+5 g/L garam. Huruf superskrip yang berbeda di atas diagram batang menunjukkan perbedaan nyata ($p < 0,05$).

perlakuan E (2,87%), C (2,70%), dan perlakuan B (2,32%).

Analisis potensi penurunan kerugian

Jika dalam setiap pengiriman terdapat 300 kantong *packing* dan setiap kantong berisi benih dengan ukuran dan kepadatan sesuai penelitian ini, maka dapat dihitung potensi berkurangnya risiko kerugian untuk setiap perlakuan pada penelitian ini (Tabel 3).

Berdasarkan perhitungan pada tabel 3, kerugian yang ditimbulkan oleh kematian benih ikan gurami selama dan pasca transportasi dapat dihindari dengan adanya penambahan garam ke dalam air media

transportasi, dan penambahan garam sebanyak 5 g/L menunjukkan potensi penghindaran kerugian yang tertinggi.

PEMBAHASAN

Penelitian pendahuluan

Hasil uji kelangsungan hidup benih ikan gurami selama pemuasaan menunjukkan bahwa benih ikan gurami dapat bertahan hidup dan berenang aktif hingga hari kelima. Dengan demikian jika terjadi kematian benih ikan uji saat simulasi transportasi bukan disebabkan faktor tidak tersedianya pakan, namun dikarenakan perubahan kualitas kimia air media transportasi.

Tingkat konsumsi oksigen benih ikan gurami dengan bobot $\pm 1,7$ g adalah sebesar $0,219 \text{ mgO}_2/\text{g/jam}$, dan dengan kepadatan 50 ekor/L, diperkirakan selama 72 jam oksigen yang dikonsumsi akan mencapai $1.340,28 \text{ mgO}_2$. Banyaknya oksigen yang dimasukkan ke dalam kantong *packing* transportasi adalah sebesar 5.203 mgO_2 , dan jumlah tersebut dianggap cukup tinggi. Dengan demikian jika terjadi kematian ikan uji di air media selama simulasi transportasi tertutup adalah dikarenakan faktor kualitas kimia air lainnya, terutama peningkatan konsentrasi CO_2 dan NH_3 .

Laju ekskresi TAN benih ikan uji adalah sebesar $0,0037 \text{ mg/L/jam}$, dan dengan kepadatan 50 ekor yang diangkut tertutup selama 72 jam diperkirakan konsentrasi TAN yang terakumulasi pada air media mencapai $22,64 \text{ mg TAN/L}$ atau sekitar $0,045 \text{ mg NH}_3/\text{L}$ yang berarti dua kali lipat dari batas

Tabel 3. Perhitungan potensi berkurangnya risiko kerugian (dalam rupiah) dari setiap perlakuan.

No.	Keterangan	Perlakuan			
		B	C	D	E
1	Biaya tetap (Rp)	2.170.000	2.170.000	2.170.000	2.170.000
2	Biaya variabel (Rp)	7.923.000	7.925.100	7.929.300	7.933.500
3	Penerimaan dari penjualan (Rp)	10.260.000	10.620.000	11.700.000	13.320.000
4	Potensi kerugian yang bisa dihindari (Rp)		360.000	1.440.000	3.060.000

konsentrasi NH_3 yang direkomendasikan untuk benih ikan yang sebesar $<0,02$ mg/L (Wedemeyer, 1996). Meskipun demikian, kematian ikan akibat NH_3 hanya akan terjadi jika terdapat akumulasi NH_3 dalam hemoglobin darah ikan, yang disebabkan oleh ikan tidak dapat mengekskresikan NH_3 darah ke air media melalui insang akibat konsentrasi NH_3 yang tinggi di air, atau tidak tersedianya ion Na^+ di air media. Ion Na^+ adalah ion penukar untuk ion NH_4^+ dari dalam darah ikan melalui insang.

Hasil penelitian Abbas (2006) menunjukkan ikan mas yang dipapar ke $0,93$ mg $\text{NH}_3\text{-N/L}$, kadar glukosa darahnya meningkat secara signifikan dibandingkan dengan kontrol. NH_3 juga dapat menurunkan kadar hemoglobin, hematokrit, eritrosit, dan leukosit pada ikan *Rainbow trout* (Vosyliene & Kazlauskienė, 2004). Kombinasi kualitas air yang buruk dan stres ini akan sangat memengaruhi tingkat kelangsungan hidup benih ikan selama dan pasca transportasi.

Hasil uji kapasitas zeolit dan arang aktif dalam mengadsorpsi TAN (NH_3 dan NH_4^+) dari air media sekitarnya menunjukkan bahwa kedua bahan adsorban ini memiliki kapasitas yang tinggi, dimana lebih dari 50% konsentrasi TAN air mampu diadsorpsi dalam waktu sekitar 120 detik. NH_4^+ lebih banyak terjerap di kisi-kisi pinggiran permukaan zeolit dan arang aktif yang bermuatan negatif, sedangkan NH_3 diduga lebih banyak terjerap di pori-pori arang aktif atau ruang antar lapisan mineral zeolit.

Penelitian utama

Pada penelitian Maria (2010), kepadatan optimum benih ikan gurami ukuran ± 4 cm dalam transportasi tertutup selama 72 jam menggunakan zeolit (20 g/L) dan arang aktif (10 g/L) adalah 40 ekor/L. Pada penelitian ini dengan adanya pemberian garam (1, 3, dan 5 g/L), kepadatan benih ikan uji ditingkatkan menjadi 50 ekor/L. Penggunaan garam

dengan dosis tersebut didasarkan pada penelitian Dewi (2006) yang menunjukkan tingkat kelangsungan hidup benih ikan gurami tertinggi terjadi pada air media pemeliharaan bersalinitas 3 ppt (3 g/L).

Pengaruh penambahan garam ke dalam air media transportasi terhadap SR benih ikan uji terlihat dari meningkatnya SR dari perlakuan C, D, dan E dibandingkan dengan perlakuan B (tanpa pemberian garam). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pada perlakuan B tingkat kelangsungan hidup benih ikan uji mencapai 57%, sedangkan dengan penambahan garam 1 g/L (perlakuan C), 3 g/L (perlakuan D), dan 5 g/L (perlakuan E), SR masing-masing bertambah 2%, 8%, dan 17%. Sementara pada perlakuan A yang tanpa zeolit, arang aktif, dan garam semua benih ikan uji mengalami kematian.

Kematian total benih ikan uji yang terjadi pada jam ke-24 pada perlakuan A diduga dikarenakan darah ikan mengandung kadar NH_3 yang tinggi sehingga afinitas O_2 ke hemoglobin menurun, dan juga kadar CO_2 yang tinggi (*hipercapnia*) yang menyebabkan pH darah diduga menjadi lebih masam (*acidosis*) sehingga kadar O_2 darah menurun melalui mekanisme efek *Root*. Kedua kondisi ikan di atas menyebabkan ikan meningkatkan laju ventilasi insang. Selanjutnya ikan mati karena kekurangan O_2 , meskipun kandungan O_2 di air media transportasi tinggi. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Black *et al* (1954), yang menunjukkan bahwa saat ikan mati kandungan oksigen di dalam air lebih tinggi ketika tekanan CO_2 meningkat. Hal ini diperkuat oleh data kadar NH_3 dan CO_2 di air media transportasi yang melebihi batas konsentrasi yang direkomendasikan untuk benih ikan, $<0,02$ mg NH_3/L dan <10 mg CO_2/L , sementara kandungan O_2 juga naik dari sekitar 5,4 menjadi 7,1 mg/L. Sementara kadar CO_2 air yang tinggi menyebabkan pH air media turun dari 7,3 menjadi 5,5–6,6.

Terjadinya pengasaman lapisan tepi batas

dari lamela insang, baik yang disebabkan oleh hidrasi CO_2 maupun oleh ekskresi proton dari darah, akan meningkatkan ekskresi NH_3 dengan cara memerangkap ion-ion NH_4^+ dan meningkatkan gradien NH_3 (Lin & Randall, 1993). Namun dikarenakan kondisi air media yang sudah mencapai kadar jenuh dengan NH_3 dan CO_2 ditambah dengan sedikit tersedianya *ion counter*, dalam bentuk ion Na^+ untuk NH_4^+/H^+ dan ion Cl^- untuk HCO_3^- , pada perlakuan A (blanko) dan B (kontrol, tanpa penambahan garam), menyebabkan NH_3 dan CO_2 darah tidak dapat diekskresikan.

Jika dibandingkan dengan perlakuan B (kontrol), C, D, dan E yang memiliki konsentrasi NH_3 , CO_2 , O_2 , dan pH di dalam air media yang tidak jauh berbeda dengan perlakuan A, namun mortalitas benih ikan ujinya lebih rendah daripada perlakuan A. Hal ini dikarenakan adanya penambahan zeolit, karbon aktif, dan garam pada air media. Zeolit dan arang aktif ditunjukkan dari penelitian pendahuluan memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi terhadap NH_3 dalam air media. Penambahan arang aktif dan zeolit dalam media dapat menurunkan konsentrasi NH_3 dan NH_4^+ . NH_3 sebagai gas akan terjepit pada pori-pori dari arang aktif, sedangkan NH_4^+ akan dijerap oleh kisi-kisi pinggir mineral zeolit yang bermuatan negatif. Namun jumlah NH_3 dan NH_4^+ yang diadsorpsi oleh zeolit dan arang aktif diduga diimbangi oleh jumlah NH_3 yang diekskresikan secara kontinu oleh ikan, sehingga kadar NH_3 dalam air media tetap tinggi. Tingkat ekskresi NH_3 ikan yang diduga lebih tinggi pada perlakuan B, C, D, dan E tersebut dibandingkan pada perlakuan A, menyebabkan hemoglobin ikan tetap mampu mengikat O_2 , sehingga mortalitas benih ikan uji lebih rendah.

Penambahan garam ke dalam air media transportasi pada perlakuan C, D, dan E mampu memberikan tingkat kelangsungan hidup (SR) yang lebih baik dibandingkan dengan perlakuan A dan B. Penambahan garam ke dalam air media transportasi selain bermanfaat untuk menurunkan gradien tekanan osmotik, sehingga tingkat stres benih ikan uji diduga lebih rendah, juga berfungsi untuk menyediakan ion Na^+ dan Cl^- , selain

itu penambahan garam akan meningkatkan *ionic strength* yang selanjutnya dapat menurunkan toksisitas amoniak. Penambahan garam yang juga berarti peningkatan salinitas air dapat menurunkan toksisitas NH_3 untuk ikan *salmon Atlantik* (Alabaster & Shurben, 1979). Penurunan toksisitas NH_3 juga terjadi untuk juvenil *coho salmon* dengan adanya penambahan sodium klorida ke larutan media (Maetz, 1973).

Ekskresi CO_2 dari tubuh ikan terjadi melalui pertukaran HCO_3^- dalam darah dengan Cl^- di air media, sementara ekskresi NH_4^+ atau H^+ dari dalam darah ikan sebagian besar akan terjadi melalui pertukaran NH_4^+/H^+ , melintasi sel-sel *branchial*, dengan ion Na^+ (Maetz, 1973; Smith, 1982). Selain itu kondisi benih ikan uji yang lebih tenang dikarenakan menurunnya gradien tekanan osmotik dan tidak menumpuknya NH_3 dan CO_2 dalam darahnya akan berdampak dalam menurunnya penggunaan energi ikan, sehingga laju metabolisme ikan lebih rendah dan bahan buangan metabolisme yang dihasilkan pun menjadi lebih sedikit.

Kematian yang terjadi pada kegiatan transportasi benih ikan salah satunya disebabkan karena kandungan NH_3 dan CO_2 yang melebihi batas toleransi ikan. Bila kadar amoniak dalam air meningkat, amoniak dari sekresi ikan akan menurun sehingga kandungan amoniak di dalam darah dan jaringan meningkat. Kandungan amoniak yang tinggi akan memengaruhi permeabilitas ikan terhadap air dan menurunkan konsentrasi ion dalam tubuh, sehingga meningkatkan konsumsi oksigen jaringan dan menyebabkan kerusakan insang serta mengurangi kemampuan darah dalam transpor oksigen (Boyd, 1990).

Kandungan oksigen dalam air media transportasi meningkat pada jam ke-24 dikarenakan adanya difusi oksigen dari udara dalam kantong *packing* yang sebelumnya telah diinjeksi dengan oksigen murni. Namun pada jam ke-48 dan ke-72 terjadi penurunan kandungan oksigen air media karena digunakan dalam aktivitas respirasi ikan. Kandungan oksigen dalam media pengangkutan pada jam ke-72 berkisar antara 3,10–4,26 mg/L, lebih tinggi dari batas bawah untuk transportasi ikan yang besarnya

2 mg/L (Pescod, 1973). Sedangkan kandungan CO₂ air media transportasi yang tinggi disebabkan karena kompetisi tempat jerapan dengan gas NH₃ pada ruang pori-pori arang aktif. Boyd (1992) menunjukkan bahwa kadar CO₂ dalam air sebesar 50–100 mg/L dapat membunuh ikan.

Tingkat kelangsungan hidup benih ikan uji pada pemeliharaan selama 17 hari pasca simulasi transportasi mencapai kisaran 93–100%. Adanya beberapa ekor benih ikan uji yang mati pasca transportasi tertutup, diistilahkan dengan *hauling loss*, rata-rata terjadi pada hari kedua sampai ketiga. Sementara untuk laju pertumbuhan harian tertinggi dicapai pada perlakuan E sebesar 2,95%, kemudian pada perlakuan D; C; dan B masing-masing sebesar 2,87; 2,70; dan 2,32%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan zeolit, arang aktif dan garam membuat ikan lebih nyaman, dimana proses fisiologis ikan tetap berlangsung dengan baik, dilihat dari konsumsi O₂ dan ekskresi NH₃ serta CO₂ yang tetap berjalan normal. Sementara hasil penelitian Ghozali (2010) menunjukkan bahwa penambahan zeolit (20g/L), arang aktif (10g/L), dan garam 4 g/L dalam air media transportasi ikan *maanvis* memengaruhi jumlah sel darah merah, menghasilkan kondisi mendekati isoosmotik, sehingga diduga biaya energi untuk osmoregulasi dialokasikan untuk digunakan dalam proses adaptasi lingkungan.

Berdasarkan analisis potensi penurunan risiko kerugian yang disebabkan oleh penambahan garam terhadap kematian benih ikan uji dengan kepadatan 50 ekor/L selama dan pasca transportasi, diperoleh hasil bahwa perlakuan E memberikan potensi berkurangnya kerugian yang terbaik, dengan besaran mencapai Rp3.060.000 sedangkan yang terendah adalah perlakuan C yang hanya mencapai Rp360.000. Hal ini disebabkan pada perlakuan E memiliki SR yang tinggi, selain itu harga dasar biaya *packingnya* juga paling rendah yaitu sebesar Rp541/ekor. Dengan demikian penambahan zeolit (20g/L), arang aktif (10g/L), dan garam 5 g/L dalam air media transportasi direkomendasikan untuk transportasi tertutup benih ikan gurami dengan panjang tubuh ±4 cm dan bobot ±1,7 g/ekor dan kepadatan 50

ekor/L. Penambahan garam lebih dari 5 g/L dapat dimungkinkan, meski tetap perlu pertimbangan akan kemungkinan dihasilkannya kondisi hiperosmotik yang malah dapat merugikan ikan.

KESIMPULAN

Penambahan garam 5 g/L ke dalam air media transportasi yang berisi benih ikan gurami berukuran panjang tubuh ±4 cm dengan kepadatan 50 ekor/L, zeolit 20 g/L dan karbon aktif 10 g/L, mampu meningkatkan SR sebesar 17% dibandingkan tanpa penambahan garam, sehingga mampu menurunkan potensi kerugian sebesar Rp3.060.000 selama 72 jam dan pasca transportasi tertutup. Untuk tahap selanjutnya perlu dipertimbangkan penambahan bahan anestesi, selain menambahkan zeolit, arang aktif dan garam dalam air media transportasi tertutup benih ikan, sehingga kelangsungan hidup benih ikan gurami dapat ditingkatkan selama dan pasca transportasi tertutup.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas HH. 2006. Acute toxicity of ammonia to common carp fingerlings (*Cyprinus carpio*) at different pH levels. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 9: 2215–2221.
- Alabaster JS, Shurben DG. 1979. The effect of dissolved oxygen and salinity on the toxicity of ammonia to smolts of salmon, *Salmo salar* L. *Journal of Fish Biology* 15: 705–712.
- Ardiyanti. Y. 2007. Pemanfaatan zeolit dan karbon aktif pada sistem pengepakan tertutup ikan corydoras *Corydoras aenus* dengan kepadatan tinggi [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Black EC, Fry FEJ, Black VS. 1954. The influence of carbon dioxide on the utilization of oxygen by some freshwater fish. *Canadian Journal of Zoology* 32: 408–420.
- Boyd. 1990. *Water Quality Management for Pond Fish Culture*. Alabama, USA: Birmingham Publishing Co.
- Boyd. 1992. *Water Quality Management for Pond Fish Culture*. Alabama, USA:

- Birmingham Publishing Co.
- Dewi ES. 2006. Pengaruh salinitas 0, 3, 6, 9, dan 12 ppt terhadap pertumbuhan dan kelangsungan hidup benih ikan gurami *Osphronemus gouramy* ukuran 3–6 cm [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Ghozali MFR. 2007. Pengaruh penambahan zeolit dan karbon aktif terhadap tingkat kelangsungan hidup ikan maanvis *Pterophyllum scalare* pada pengangkutan sistem tertutup [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Ghozali MFR. 2010. Efektivitas penambahan zeolit, C-aktif, dan garam pada pengangkutan ikan maanvis *Pterophyllum scalare* dengan kepadatan tinggi, studi lanjut respon stres [Tesis]. Bogor: Institut pertanian Bogor.
- [KKP] Kementerian Kelautan & Perikanan. 2010. Rencana strategis Kementerian Kelautan dan Perikanan 2010–2014. Jakarta: KKP
- Lin H, Randall DJ. 1993. Effects of variations in water pH on fish. *In*: Lahlou B, Vitiello P (eds). *Aquaculture: Fundamental and Applied Research*. Washington DC, USA: American Geophysical Union. pp 31–46.
- Maetz J. 1973. $\text{Na}^+/\text{NH}_4^+$, Na^+/H^+ exchanges and NH_3 movement across the gill of *Carassius auratus*. *J. Exp. Biol.* 58: 255–275.
- Maria RF. 2010. Efektivitas penambahan zeolit dan karbon aktif pada pengangkutan benih ikan gurami dengan kepadatan tinggi [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Pescod MB. 1973. Investigation of Rational Effluent and Stream Standar for Tropical Countries. Bangkok, Thailand: AIT
- Smith LS. 1982. Introduction to Fish Physiology. Neptune City, New Jersey, USA: Publications Inc.
- Vosyliene MZ, Kazlauskienė N. 2004. Comparative studies of sublethal effects of ammonia on rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*) at different stages of its development. *Acta Zoologica Lituanica* 14: 13–18.
- Wedemeyer GA. 1996. Physiology of Fish in Intensive Culture Systems. New York, USA: Chapman & Hall.