

PENGARUH KOLOID NANOPERAK TERHADAP PERKEMBANGAN EMBRIO IKAN WADER PARI (*Rasbora lateristriata*)

[*The Effect of Nanosilver Colloids on the Embryo Development of the Wader Fish (Rasbora lateristriata)*]

Muthia Arrusyda¹, Bambang Retnoaji^{1✉*}

¹Laboratorium Struktur dan Perkembangan Hewan, Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, Sleman, Yogyakarta 55281, Indonesia
email: bambang.retnoaji@ugm.ac.id

ABSTRACT

One environmentally friendly method of nanosilver (AgNPs) synthesis is by using gamma rays radiosynthesis. The environmental challenges related to the industrialization of AgNPs are not only related to the synthesis and production but also related to the use of the product. The purpose of this study was to determine the effect of alginate-stabilized colloidal nanosilver on egg hatchability and bone structure of wader fish (*Rasbora lateristriata* Bleeker, 1854). Colloidal AgNPs were synthesized using gamma rays at doses of 5 kGy, 10 kGy, 15 kGy, and 20 kGy, respectively, and characterized by UV-Vis. Fish eggs were exposed to colloid AgNPs for 24 hours. Embryos were observed at the age of two days using a microscope. Bone staining was carried out with Alizarin Red and Alcian Blue stains on five-weeks-old fish. The ossification of the fish head with the AgNPs synthesized at 5 kGy was seen to be delayed. There was a decrease in hatchability, and heart rate in the treated fish head. Exposure of AgNPs in the embryonic phase of wader fish can affect the circulatory system, bone structure, and hatchability of wader fish embryos.

Keywords: AgNPs, hatchability, gamma-ray, heart rate, ossification, *Rasbora lateristriata*, yellow rasbora

ABSTRAK

Salah satu metode sintesis nanoperak (AgNPs) yang ramah lingkungan adalah radiosintesis menggunakan sinar gamma. Tantangan lingkungan terkait industrialisasi AgNPs tidak hanya terkait sintesis dan produksi tetapi juga terkait penggunaan produk. Peningkatan penggunaan nanoperak juga berarti peningkatan limbah pemakaian produk dengan nanoperak yang terpapar ke ekosistem perairan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh koloid nanoperak terstabilisasi alginat terhadap daya tetas telur dan struktur tulang ikan wader pari (*Rasbora lateristriata* Bleeker, 1854). Koloid AgNPs disintesis menggunakan sinar gamma pada dosis 5 kGy, 10 kGy, 15 kGy, dan 20 kGy kemudian dikarakterisasi dengan UV-Vis. Telur ikan didedahkan dengan koloid AgNPs selama 24 jam. Embrio diamati pada umur dua hari menggunakan mikroskop. Pewarnaan tulang dilakukan dengan pewarna *Alizarin Red* dan *Alcian Blue* pada ikan berusia lima pekan. Osifikasi pada bagian kepala ikan yang diperlakukan dengan AgNPs yang disintesis pada 5 kGy mengalami keterlambatan, daya tetas telur ikan wader pari juga mengalami penurunan dan laju denyut jantung pada larva dengan perlakuan juga mengalami perbedaan dibandingkan dengan kontrol, penurunan laju denyut jantung pada larva dengan perlakuan dibandingkan dengan kontrol. Pendedahan AgNPs pada fase embrio ikan wader dapat memengaruhi sistem sirkulasi, struktur tulang dan daya tetas embrio ikan wader pari.

Kata kunci: AgNPs, daya tetas, denyut jantung, osifikasi, *Rasbora lateristriata*, sinar gamma, wader pari

PENDAHULUAN

Nanosilver telah menjadi salah satu bahan nano yang paling banyak digunakan dalam berbagai produk karena sifat antimikrobanya. Menurut (Vance *et al.*, 2015) nanopartikel perak (AgNPs) mewakili 24% dari total produksi di industri nanoteknologi. Keberadaan nanopartikel perak di sebagian besar produk serta dalam limbah air dikhawatirkan membawa dampak tertentu bagi organisme dan lingkungan. Misalnya pencucian kain medis yang mengeluarkan sejumlah perak yang sebanding dengan batas karakterisasi toksisitas di air (Benn *et al.*, 2010).

Sifat-sifat AgNPs sangat bergantung pada ukuran, bentuk dan kristalinitasnya. Luas permukaan spesifik AgNPs yang besar dan energi permukaannya yang tinggi dapat memicu agregasi AgNP selama waktu penyimpanan. Hal tersebut berpengaruh pada aktivitas aplikasinya (Syafiuddin *et al.*, 2017).

AgNPs bersifat beracun bagi beberapa sel manusia seperti sel epitel bronkial, sel endotel vena umbilikal, sel darah merah, sel mononuklear darah perifer, keratinosit dan hematosit. AgNPs menginduksi sitotoksitas bergantung pada dosis, ukuran dan waktu, terutama pada partikel berukuran ≤ 10 nm (Liao *et al.*, 2019). Pemahaman bagaimana masa penyimpanan nanoperak berpengaruh terhadap organisme sangat penting untuk memprediksi dan mengontrol nanotoksitas. Penelitian oleh Santoshkumar *et al.* (2019) menunjukkan bahwa paparan AgNPs mengganggu tahapan organogenesis selama tahap perkembangan embrio ikan zebra (*Danio rerio*).

Ikan wader pari (*Rasbora lateristriata*) mudah ditemukan di perairan terbuka, mempunyai jumlah telur yang banyak dan mempunyai masa perkembangan embrio yang singkat (Pratiwi, 2014; Retnoaji *et al.*, 2017), oleh karena itu, ikan wader

*Kontributor Utama

*Diterima: 10 Desember 2020 - Diperbaiki: 12 Juni 2022- Disetujui: 8 Juni 2022

mempunyai potensi yang besar untuk dijadikan hewan model pada uji toksisitas atau organisme bioindikator pencemaran lingkungan. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari pengaruh koloid nanoperak terstabilisasi alginat terhadap daya tetas, struktur tulang dan jantung embrio ikan wader pari.

BAHAN DAN CARA KERJA

Lokasi dan Waktu

Penelitian dilakukan dari bulan Juli 2018 sampai dengan September 2020 di Laboratorium Biomaterial, Kelompok Bahan Kesehatan, Bidang Proses Radiasi, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi Badan Tenaga Nuklir Nasional (PAIR-BATAN) serta di Laboratorium Struktur dan Perkembangan Hewan, Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Metoda kerja dilakukan berdasarkan (Muthia Arrusyda, 2021).

Bahan

Indukan ikan wader pari dari Lab Struktur dan Perkembangan Hewan, Fakultas Biologi, UGM, dipijahkan mulai pukul 16:00 WIB menggunakan bak pemijahan, dengan rasio 1 betina : 2 jantan. Telur hasil pemijahan dikoleksi pada jam 06:00 keesokan harinya, dan dikelompokkan secara acak ke dalam petri dengan jumlah 100 telur/petri yang sudah diisi dengan *egg water*. Kualitas telur ditentukan dengan menggunakan parameter fase perkembangan telur, mulai dari fase dua sel sampai stadium *dome*. Perkembangan telur diamati dengan mikroskop *Leica*, pada pembesaran 100x. Telur yang mencapai tahapan perkembangan *dome* dikategorikan sebagai telur normal dan digunakan dalam penelitian.

Cara Kerja

1. Karakterisasi Koloid AgNPs

Analisis spektrofotometri UV-Vis dilakukan untuk menentukan keberadaan AgNPs yang ditunjukkan dengan adanya puncak serapan khusus Ag⁰ pada panjang gelombang 400–420 nm. Sampel diencerkan (10^{-1}) dengan akuades kemudian dianalisis pada panjang gelombang 800 nm hingga 200 nm. Analisis kestabilan dilakukan dengan mengamati perubahan panjang gelombang dan absorbansi sampel pada hari ke-1, 4, 8, 11 dan 15. Hasil data spektrofotometri UV-Vis direkam menggunakan *software* scan dan disimpan dalam format ASCII, kemudian diolah menggunakan Microsoft Excel (*Microsoft corp*). Selanjutnya data dianalisis dan dibuat grafik serapan SPR menggunakan *perangkat lunak* OriginPro 16 (OriginLab, Massachusetts, Amerika Serikat).

2. Uji Pengaruh AgNPs

Telur ikan wader pari fertil hasil pemijahan dimasukkan sebanyak 3 butir/*lubang* ke dalam wadah dengan 12 lubang. Kemudian telur dipaparkan dengan koloid nanoperak sebanyak 5 mL dengan konsentrasi 0.055 g/mL selama 24 jam.

Larva yang menetas dilakukan pengamatan morfologi tubuh dan laju detak jantung, menggunakan mikroskop *Leica* dengan pembesaran 50x, dipadu dengan membuat video berdurasi satu menit untuk setiap embrio. Kemudian larva yang menetas dihitung dan ditentukan presentasi sintasan.

3. Pewarnaan Tulang

Ikan wader pari yang telah berusia lima pekan dipanen, kemudian tulang diwarnai dengan mengikuti metode Inouye, (1972). Ikan difiksasi dengan alkohol 96% selama empat hari, kemudian dimasukkan dalam larutan pewarna *Alizarin Red* dan *Alcian Blue* di dalam flakon selama empat hari. Selanjutnya dibilas menggunakan akuades sebanyak tiga kali dan dilakukan *bleaching* menggunakan KOH 0,01% sampai tulang ikan terlihat. Larutan KOH diganti dengan larutan moll sampai jernih, kemudian preparat disimpan dalam gliserin 50% dan preparat diamati dengan mikroskop *Leica*, kemudian didokumentasikan untuk pengamatan.

Analisis Data

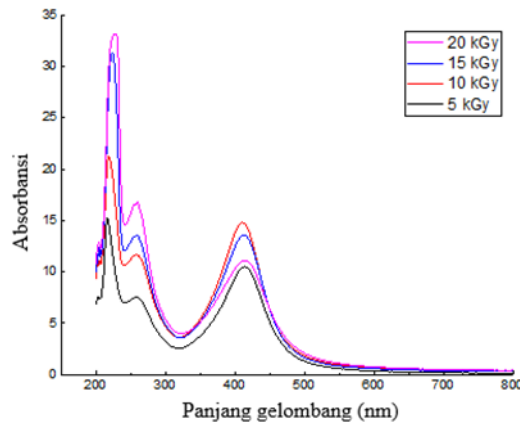
Data gambar dianalisis secara deskriptif dan komparatif. Data rerata laju jantung dianalisis dengan aplikasi IBM SPSS 22 dengan uji *one way* ANOVA.

HASIL

Karakterisasi AgNPs

Larutan koloid nanopartikel perak memberikan puncak absorpsi pada panjang gelombang di sekitar 400 nm (Tabel 1) yang menunjukkan puncak serapan permukaan plasmon khas nanopartikel perak. Puncak yang sempit menandakan ukuran partikel yang kecil (Tran *et al.*, 2013).

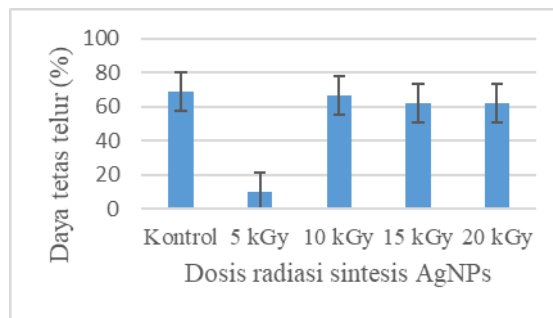
Gambar 1 menunjukkan puncak absorpsi pada panjang gelombang di sekitar 400 nm yang menunjukkan puncak serapan permukaan plasmon khas nanopartikel perak. Puncak absorbansi spektrum UV alginat terdapat 265 nm sehingga tidak terjadi tumpang tindih dengan serapan AgNPs (Nagasawa *et al.*, 2000). Hal tersebut mengindikasikan bahwa AgNPs yang dihasilkan homogen, baik bentuk maupun ukurannya (Foliatini *et al.*, 2015).



Gambar 1. Spektrum serapan UV-Vis dari koloid AgNPs terstabilisasi alginat. (*UV-Vis absorption spectrum of alginate-stabilized AgNPs colloidal*).

(Gambar 2) menunjukkan grafik tingkat penetasan pada telur ikan wader pari yang terpapar dengan kontrol adalah berbeda nyata ($p < 0,05$)

terutama pada paparan AgNPs yang disintesis dengan dosis radiasi 5 kGy. Hasil penelitian menunjukkan partikel nanoperak yang dilarutkan pada media telur mampu menembus lapisan korion telur ikan wader.



Gambar 2. Grafik daya tetas telur ikan wader yang diperlakukan dengan AgNPs, menunjukkan daya tetas terendah terdapat pada perlakuan 1. (*Graph of hatchability of wader fish eggs treated with AgNPs, showing the lowest hatchability is found in treatment 1*)

Pengaruh AgNPs

Pengamatan denyut jantung dilakukan pada saat larva berumur dua hari. (Tabel 1), menunjukkan rerata denyut jantung terendah terdapat pada perlakuan dengan koloid AgNPs yang disintesis dengan dosis radiasi gamma 10 kGy yakni 114 detak/menit dan berbeda nyata ($p < 0,01$) dari rerata kontrol dan perlakuan lainnya. Rerata denyut jantung pada perlakuan dengan koloid AgNPs yang disintesis dengan dosis radiasi gamma 15 dan 20 kGy teramati lebih rendah namun tidak terlalu berbeda jauh dari kontrol.

Pengamatan morfologi larva pada usia dua hari setelah fertilisasi menunjukkan bahwa tidak nampak adanya perbedaan morfologi larva antar

perlakuan dan juga pada kontrol (Gambar 3). Semua kantung yolk berbentuk kurus dan tidak mengalami pembengkakan pada kantung jantung.

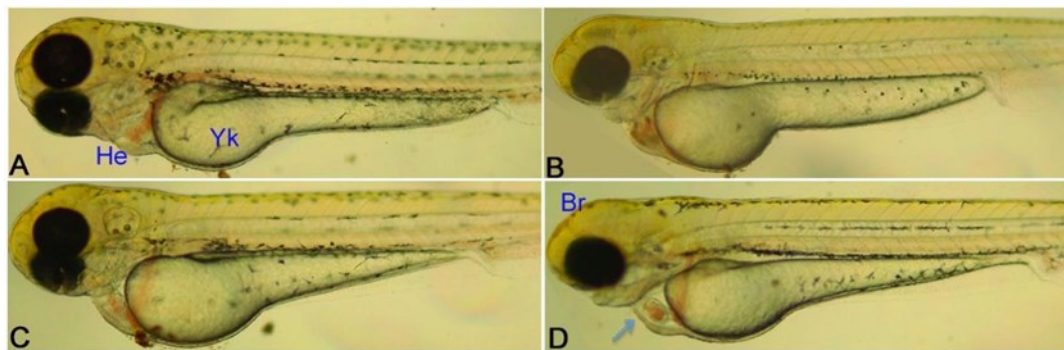
Pigmentasi pada larva ikan pelakuan II, III dan IV (Gambar 4B - D) tidak sebanyak pada larva kontrol (Gambar 4 A). Keterlambatan osifikasi pada bagian kepala pada perlakuan III dan IV teramati dengan pulasan warna biru (Gambar 5).

Sedangkan osifikasi sempurna bagian vertebra ditunjukkan pada bagian A - H (Gambar 6). Gambar 6 bagian I - L menunjukkan struktur sirip ekor yang terpulas dengan warna biru yang menandakan belum adanya osifikasi sempurna pada semua perlakuan.

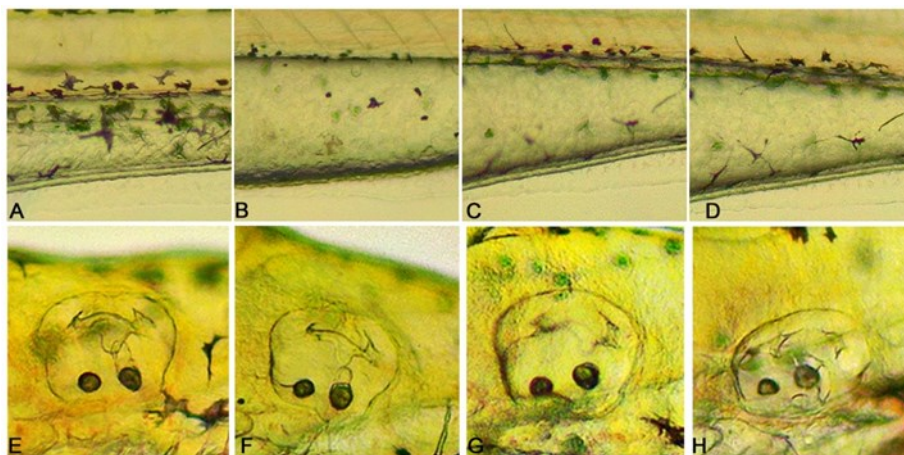
Tabel 1. Rerata denyut jantung larva ikan wader pari setelah pemaparan koloid AgNPs pada fase embrio. (The average heart rate of fish larvae exposed to AgNPs colloid in the embryonic phase).

Perlakuan dengan koloid AgNPs yang disintesis dengan dosis radiasi gamma (kGy) (Treatment with colloidal AgNPs synthesized with a dose of gamma radiation) (kGy)	Rerata denyut jantung (Average heart rate) Beat Per Minute (BPM)
Kontrol	154.5000 ± 7.00 ^a
5	156.0000 ± 0.82 ^b
10	114.0000 ± 2.31 ^a
15	146.5000 ± 16.60 ^b
20	148.0000 ± 14.88 ^b

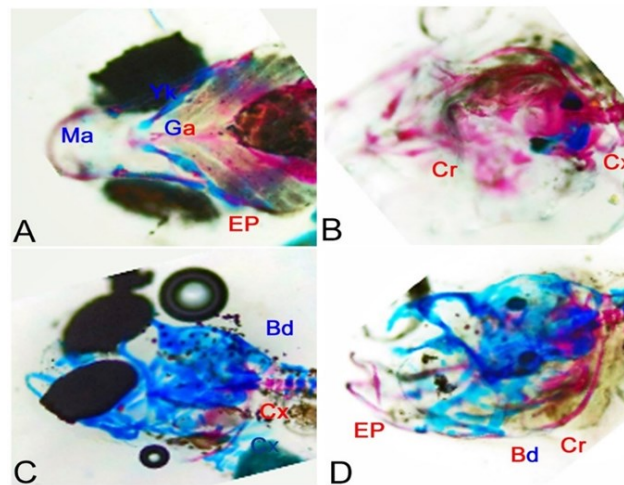
Keterangan: Angka yang diikuti huruf notasi ^a menunjukkan berbeda nyata pada uji Duncan dengan taraf signifikansi p<0.05. (Numbers followed by the letter ^a significant difference in Duncan's test with a significance level of p<0.05).



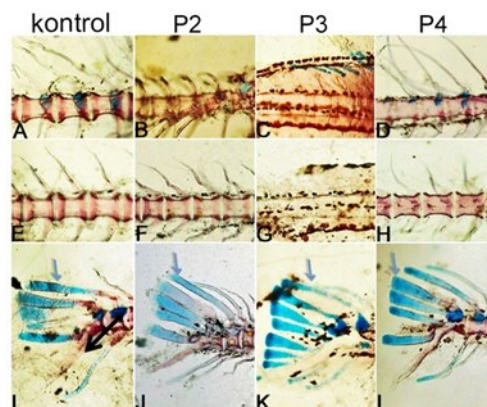
Gambar 3. Morfologi larva pada hari ke-2 setelah fertilisasi. Kontrol (A) dan perlakuan pendedahan AgNPs pada masa embrionik (B, C, D). He = Jantung, Yk = Yolk, Br = Otak, panah = Selaput jantung. (Larval morphology on 2 dpf. Control (A) and treatment of AgNPs during embryonic period (B, C, D). He = Heart, Yk = Yolk, Br = Brain, arrow = membranes of the heart).



Gambar 4. Menunjukkan Pigmentasi pada kontrol (A) dan perlakuan (B, C, D), serta pembentukan organ pendengaran (vesicula otica) pada embrio. (Embryonic pigmentation of control (A) and treatment (B, C, D), as well as the formation of the auditory organ (vesicula otica) in embryos).



Gambar 5. Struktur tulang kepala ikan wader pada usia lima pekan (A) kontrol, (B) pendedahan AgNPs dari sintesis 10 kGy radiasi gamma, (C) pendedahan AgNPs dari sintesis 15 kGy radiasi gamma, (D) pendedahan AgNPs dari sintesis 20 kGy radiasi gamma dengan perbesaran 4×10 dengan pewarnaan *Alizarin Red* and *Alcian Blue*. (Cranium structure of wader fish at five weeks of age (A) control, (B) AgNPs from the synthesis of 10 kGy gamma radiation, (C) AgNPs from the synthesis of 15 kGy of gamma radiation, (D) AgNPs from the synthesis of 20 kGy of gamma radiation with 4×10 magnification, and stained with *Alizarin Red* and *Alcian Blue* staining).



Gambar 6. Struktur tulang ikan wader pari usia lima pekan, menunjukkan tulang servikalis (A - D), tulang vertebra (E - H) dan tulang kaudal (I - L). (The bone structure of the five-week-old fish showing cervical (A - D), vertebral (E - H) and caudal (I - L) bones).

PEMBAHASAN
Karakterisasi AgNPs

Variasi dosis radiasi pada proses sintesis AgNPs berpengaruh terhadap intensitas serapan dan panjang gelombang. Intensitas absorbansi berbanding lurus dengan konsentrasi partikel dalam larutan. Semakin tinggi absorbansi puncak, maka jumlah AgNPs yang terbentuk semakin banyak pula (Chen *et al.*, 2015). Sementara panjang gelombang berbanding lurus dengan ukuran partikel. Semakin kecil panjang gelombang puncak, maka semakin kecil pula ukuran AgNPs (Cobley *et al.*, 2009).

Peningkatan absorbansi eksponensial diperkirakan menunjukkan dosis iradiasi tinggi

dapat menghasilkan jumlah spesi radikal yang lebih banyak untuk mereduksi Ag^+ menjadi Ag^0 (Akamatsu *et al.*, 2000). Ukuran atau diameter partikel semakin mengecil, sehingga distribusi ukuran partikel nanopartikel perak meningkat seiring dengan meningkatnya dosis iradiasi yang digunakan saat sintesis dilakukan (Naghavi *et al.*, 2010).

Puncak serapan *Surface Plasmon Resonance* (SPR) tertinggi terdapat pada dosis 10 kGy. Pada dosis 15 kGy puncak serapan mulai menurun. Hal ini dapat dimungkinkan karena peningkatan dosis iradiasi menurunkan tingkat degradasi alginat dan meningkatkan pemutusan rantai per molekul

(Nasagawa *et al.*, 2000).

Pengaruh AgNPs

Daya tetas telur adalah kemampuan telur untuk berkembang dalam proses embriogenesis hingga telur menetas yang dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain kualitas telur dan kondisi lingkungan yang mendukung.

Tingkat penetasan telur ikan wader yang dipapar dengan AgNPs yang disintesis dengan dosis radiasi 5 kGy secara signifikan lebih rendah ($p < 0,05$) dibandingkan dengan tingkat penetasan pada kontrol. Hasil ini berbeda dengan Yoo *et al.* (2016) yang melaporkan bahwa paparan AgNPs tidak memengaruhi tingkat penetasan pada telur ikan zebra. Tingkat penetasan pada perlakuan pertama menunjukkan angka yang sangat rendah, yakni hanya sebesar 10 %. Selanjutnya, pada hari ke-3 setelah penetasan diketahui bahwa semua larva pada paparan AgNPs dengan dosis radiasi tersebut mengalami kematian.

Hasil penelitian menunjukkan partikel nanoperak yang dilarutkan pada media telur mampu menembus lapisan korion telur ikan wader. Penelitian oleh (Kashiwada, 2006) dan Lee *et al.* (2007) melaporkan bahwa partikel berskala nano dapat diserap oleh korion ikan medaka (*Oryzias latipes*) dan ikan zebra (*Danio rerio*). Partikel kemudian dapat terangkut menuju *yolk sac* dan tubuh ikan. Hal tersebut menunjukkan bahwa nanopartikel dapat terakumulasi pada tubuh ikan selama periode perkembangan embrio dan berpengaruh terhadap proses perkembangan embrio (Wu *et al.*, 2010). Selain itu penelitian oleh Böhme *et al.* (2015) menunjukkan keberadaan korion tidak memengaruhi potensi toksik perak secara signifikan.

Rerata denyut jantung pada perlakuan dengan koloid AgNPs yang disintesis dengan dosis radiasi gamma 15 dan 20 kGy teramati lebih rendah namun tidak terlalu berbeda jauh dari kontrol. Hal tersebut sesuai dengan penelitian Asharani *et al.* (2008) yang menyatakan bahwa AgNPs memengaruhi turunnya denyut jantung ikan. Rerata denyut jantung pada perlakuan dengan koloid AgNPs yang disintesis dengan dosis radiasi gamma 5 kGy tidak dapat teramati karena objek telah mati. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh kompensasi fisiologis sebagai akibat dari sirkulasi yang lambat atau hemostasis (Wu *et al.*, 2010). Denyut jantung dipengaruhi oleh otot jantung, saraf, dan pembuluh darah, lokomotor dan motilitas melibatkan struktur dan fungsi otot, otak, kerangka dan saraf, keduanya merupakan turunan dari lapisan *germinativum* ektoderm dan mesoderm (Supriadi *et al.*, 2019).

Semua kantung yolk berbentuk merata dan tidak mengalami pembengkakan (*edema*) akibat perlakuan yang menandakan larva dalam keadaan sehat (Gambar 3). Edema umumnya disebabkan oleh gangguan osmoregulasi (Wu *et al.*, 2010), yang dimungkinkan akibat paparan AgNPs meningkatkan spesi oksigen reaktif pada sel. Hal tersebut menunjukkan bahwa paparan AgNPs pada masa embrionik tidak mengakibatkan edema yang memengaruhi morfologi jantung dan morfologi kantung yolk.

Pigmentasi pada larva ikan perlakuan II, III dan IV (Gambar 4B-D) tidak sebanyak larva pada kontrol (Gambar 4A). Hal yang sama teramati pula pada penelitian Wu *et al.* (2010). Pigmentasi merupakan salah satu parameter pertumbuhan larva ikan. Perbedaan pigmentasi pada perlakuan selain kontrol menandakan adanya gangguan perkembangan pada ikan (Qiang *et al.*, 2020). Wu *et al.* (2010) mendapati penurunan ekspresi melanophores, xanthophores dan leucophores pada larva embrionik yang terpapar oleh AgNPs. (Gambar 4) F - H menunjukkan bahwa struktur morfologi vesikula otika yang merupakan bagian dari organ pendengaran ikan, tidak menunjukkan adanya perbedaan struktur antara kontrol dan perlakuan, mengindikasikan bahwa perlakuan tidak berdampak pada vesikula otika.

Struktur sirip ekor yang terpulas dengan warna biru yang menandakan belum adanya osifikasi sempurna pada semua perlakuan (Gambar 6 I-L). Hal tersebut dikarenakan ikan masih berada pada tahap perkembangan *juvenile*. Kartilago pada bagian ekor yang terpulas dengan warna biru terdapat pada perlekatan jari-jari sirip ekor dengan tulang *hypural*. Pulasan warna merah pada sirip ekor perlakuan kontrol lebih terlihat jelas dibandingkan dengan ikan pada perlakuan lainnya. Hal tersebut dapat mengindikasikan adanya keterlambatan proses osifikasi pada ikan yang terpapar oleh AgNPs pada masa perkembangan embrio.

Hasil observasi menunjukkan bahwa terdapat perbedaan ukuran tubuh dengan jumlah segmen vertebra pada semua perlakuan teramati sama, yakni terdapat 33 vertebra. Panjang dan ukuran ikan yang mengalami perlakuan, relatif lebih kecil dibandingkan dengan kontrol. Hal tersebut menunjukkan bahwa paparan AgNPs memengaruhi pertambahan panjang tubuh, namun tidak memengaruhi jumlah segmen vertebra pada ikan wader.

Pertambahan panjang tubuh dan osifikasi melibatkan perkembangan jaringan tulang yang merupakan turunan dari lapisan *mesoderm germinativum* (Supriadi *et al.*, 2019). Osifikasi

pada bagian kepala lebih kompleks daripada bagian lainnya karena terdapat tulang sejati pipih yang berkembang dari kartilago. Osifikasi intramembran terjadi melalui osteoblast tipe I dan II. Tipe I adalah kluster besar yang terdiri lebih dari 25 sel. Osteoblast tipe I memiliki inti berbentuk oval besar, bulat atau tidak beraturan. Terletak di tepi tulang pipih yang tumbuh keluar, seperti tulang gigi, rahang atas, dan tulang frontal di *suture* metopik. Osteoblast tipe II lebih kecil dari pada tipe I dengan hanya sekitar 4–12 osteoblast tanpa inti yang besar. Kluster ini tersebar ke seluruh kerangka ikan dan lebih umum daripada kelompok osteoblast tipe I (Weigele dan Tamara, 2016).

Perilaku AgNPs di lingkungan dan toksisitasnya sangat bergantung pada ligan, pH dan DO. Agregasi dan disolusi AgNPs ke dalam lingkungan sendiri bergantung pada metode sintesis dan jenis lapisan permukaan yang digunakan (McShan *et al.*, 2014). Secara termodinamika, AgNP tidak stabil dan berubah menjadi spesies lain dalam berbagai kondisi berair. Toksisitas nanopartikel tidak hanya terkait dengan dosis, tetapi juga dengan ukuran, bentuk, lapisan dan muatan permukaan (Ehrhart *et al.*, 2015). Penelitian yang dilakukan (Pecoraro *et al.*, 2017) menunjukkan bahwa toksisitas AgNPs lebih dipengaruhi dan berkaitan dengan ukuran dan keadaan agregasi daripada konsentrasinya. Selain itu Abramenko *et al.* (2018) menunjukkan bahwa embrio ikan lebih sensitif terhadap AgNPs dari pada ion Ag⁺, hal tersebut dimungkinkan berasal dari kombinasi efek induksi dari AgNPs dan ion perak.

KESIMPULAN

Paparan koloid nanoperak terstabilisasi alginat yang disintesis dengan variasi dosis sinar gamma pada embrio ikan wader pari dapat menimbulkan pengaruh antara lain: menurunkan daya tetas embrio, menurunkan secara nyata detak jantung, memperlambat perkembangan tulang dan mengakibatkan terhambatnya pertumbuhan tubuh tanpa mempengaruhi jumlah segmen vertebra pada ikan wader pari, terutama pada perlakuan dengan AgNPs yang disintesis dengan dosis radiasi 5 kGy.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Gadjah Mada yang telah memberikan fasilitas untuk melaksanakan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Abramenko, N., Demidova, T.B., Krutyakov, Y.A., Zhrebina, P.M., Krysanov, E.Y., Kustov, L.M. and Peijnenburg, W., 2019. The effect of capping agents on the toxicity of silver nanoparticles to *Danio rerio* embryos.

Nanotoxicology, 1–13.

Akamatsu, K., Takei, S., Mizuhata, M., Kajinami, A., Deki, S., Takeoka, S. and Yamamoto, K., 2000. Preparation and characterization of polymer thin films containing silver and silver sulfide nanoparticles. *Thin Solid Films*, 359(1), 55–60. doi:10.1016/s0040-6090(99)00684-7.

Asharani, P.V., Lian Wu, Y., Gong, Z. and Valiyaveetil, S., 2008. Toxicity of silver nanoparticles in zebrafish models. *Nanotechnology*, 19(25), 255102. doi:10.1088/0957-4484/19/25/255102.

Benn, T., Cavanagh, B., Hristovski, K., Posner, J.D. and Westerhoff, P., 2010. The release of nanosilver from consumer products used in the home. *Journal of Environment Quality*, 39(6), 1875. doi:10.2134/jeq2009.0363.

Böhme, S., Stärk, H.J., Reemtsma, T. and Kühnel, D., 2015. Effect propagation after silver nanoparticle exposure in zebrafish (*Danio rerio*) embryos: a correlation to internal concentration and distribution patterns. *Environmental Science: Nano*, 2(6), 603–614. doi:10.1039/c5en00118h.

Cobley, C.M., Skrabalak, S.E., Campbell, D.J. and Xia, Y., 2009. Shape-controlled synthesis of silver nanoparticles for plasmonic and sensing applications. *Plasmonics*, 4, 171–179.

Ehrhart, F., Evelo, C. and Willighagen, E., 2015. Current systems biology approaches in hazard assessment of nanoparticles. bioRxiv, 028811.

Foliatini, Y., Yulizar, and M.A.E., Hafizah., 2014. The synthesis of alginate-capped silver nanoparticles under microwave irradiation. *J. Math. Fund. Sci.* 47(1): 31–50.

Inouye, M., 1976. Differential staining of cartilage and bone in mouse skeleton by alcian blue and alizarin red S. *Congenital Anomalies* 16, 171–173.

Kashiwada, S., 2006. Distribution of nanoparticles in the see-through medaka (*Oryzias latipes*). *Environ. Health Perspect.* 114, 1697–1702.

Lee, K.J., Nallathamby, P.D., Browning, L.M., Osgood, C.J. and Xu, X.H.N., 2007. In vivo imaging of transport and biocompatibility of single silver nanoparticles in the early development of zebrafish embryos. *ACS Nano* 1, 133–143.

Liao, C., Li, Y. and Tjong, S., 2019. Bactericidal and cytotoxic properties of silver nanoparticles. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(2), 449.

McShan, D., Ray, P.C. and Yu, H., 2014. Molecular toxicity mechanism of nanosilver. *Journal of Food and Drug Analysis*, 22(1), 116–127. doi:10.1016/j.jfda.2014.01.010.

- Muthia Arrusyda., 2021. Pengaruh Koloid Nanoperak Terstabilisasi Alginat Terhadap Perkembangan Embrio Ikan Wader Pari (*Rasbora lateristriata* Bleeker, 1854). Naskah Skripsi. Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Nagasawa, N.H., Mitomo, F., Yoshii, and T., Kume., 2000. Radiation-induced degradation of sodium alginate. *Polymer Degradation and Stability*, 69(3), 279–285. doi:10.1016/s0141-3910(00)00070-7.
- Naghavi, K., Saion, E., Rezaee, K. and Yunus, W.M.M., 2010. Influence of dose on the particle size of colloidal silver nanoparticles synthesized by gamma radiation. *Radiation Physics and Chemistry*, 79(12), 1203–1208. doi:10.1016/j.radphyschem.2010.07.009
- Pecoraro, R., Marino, F., Salvaggio, A., Capparucci, F., Di Caro, G., Iaria, C. and Brundo, M.V., 2017. Evaluation of chronic nanosilver toxicity to adult zebrafish. *Frontiers in Physiology*, 8. doi:10.3389/fphys.2017.01011.
- Pратиwi, T.Y., 2014. “Gambaran reproduksi ikan wader pari (*Rasbora argyrotaenia*) pada Bulan Desember-Januari Tahun 2013–2014 di Sungai Kaporan, Kecamatan Kraksaan, Kabupaten Probolinggo”. Skripsi. Malang: Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya.
- Qiang, L., Arabeyyat, Z.H., Xin, Q., Paunov, V.N., Dale, I.J.F., Lloyd Mills, R.I. and Cheng, J., 2020. Silver nanoparticles in zebrafish (*Danio rerio*) Embryos: Uptake, growth and molecular responses. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(5), 1876. doi:10.3390/ijms21051876.
- Retnoaji, B., Nurhidayat, L., Husni, A. and Suwarman., 2017. Cultivation and conservation of Indonesian native fish (*Rasbora lateristriata*) Through fish farmer group empowerment in Yogyakarta. In: Isnansetyo, A. and Nuringtyas, T. (eds) Proceeding of the 1st International Conference on Tropical Agriculture. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60363-6_50.
- Santoshkumar S.V. and S.R., 2019. Toxicology evaluation and Antidermatophytic activity of silver nanoparticles synthesized using leaf extract of *Passiflora caerulea*. *South African Journal of Chemical Engineering*. doi:10.1016/j.sajce.2019.04.001.
- Supriadi, R.F., Permata, T.R., Norisa, N., Khotimah, H., Ali, M., Widodo, M.A. and Nurdiana., 2019. Centella asiatica protects the development of aluminum-induced zebrafish larvae. *INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIOINFORMATICS AND NANO-MEDICINE FROM NATURAL RESOURCES FOR BIOMEDICAL RESEARCH: 3rd Annual Scientific Meeting for Biomedical Sciences*. doi:10.1063/1.5110005.
- Syafiuddin, A., Salmiati, Salim, M.R., Beng Hong Kueh, A., Hadibarata, T. and Nur, H., 2017. A review of silver nanoparticles: Research trends, global consumption, synthesis, properties, and future challenges. *Journal of the Chinese Chemical Society*, 64(7), 732–756. doi:10.1002/jccs.201700067.
- Tran, Q.H., Nguyen, V.Q. and Le, A.T., 2013. Silver nanoparticles: synthesis properties, toxicology, applications, and perspectives. *Adv. Nat. Sci. Nanosci. Nanotechnol.* 4, 033001.
- Vance, M.E., Kuiken, T., Vejerano, E.P., McGinnis, S.P., Hochella, M.F., Rejeski, D. and Hull, M.S., 2015. Nanotechnology in the real world: Redeveloping the nanomaterial consumer products inventory. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 6, 1769–1780. doi:10.3762/bjnano.6.181.
- Weigele, J. and Franz-Odenaal, T.A., 2016. Functional bone histology of zebrafish reveals two types of endochondral ossification, different types of osteoblast clusters and a new bone type. *Journal of Anatomy*, 229(1), 92–103. doi:10.1111/joa.12480.
- Wu, Y., Zhou, Q., Li, H., Liu, W., Wang, T. and Jiang, G., 2010. Effects of silver nanoparticles on the development and histopathology biomarkers of Japanese medaka (*Oryzias latipes*) using the partial-life test. *Aquatic Toxicology*, 100(2), 160–167. doi:10.1016/j.aquatox.2009.11.014.
- Yoo, M.H., Rah, Y.C., Choi, J., Park, S., Park, H.C., Oh, K.H. and Kwon, S.Y., 2016. Embryotoxicity and hair cell toxicity of silver nanoparticles in zebrafish embryos. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 83, 168–174. doi:10.1016/j.ijporl.2016.02.013.