

Tersedia online di: <http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/jra>

TOKSISITAS NONILFENOL PADA BENIH IKAN NILA (*Oreochromis niloticus*) DAN PHYTOREMEDIASI DENGAN ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) YANG DIBERI PUPUK BERBEDA

Muhamad Yamin^{*)#}, Eddy Supriyono^{**)}, dan Mulyasari^{***)}

⁾ Balai Riset Budidaya Ikan Hias
Jl. Perikanan No. 13, Pancoran Mas, Depok

^{**)} Program Studi Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Insitut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga, Jalan Agatis, Babakan, Kec. Dramaga, Kota Bogor, Jawa Barat 16128

^{***)} Balai Riset Perikanan Budidaya Air Tawar dan Penyuluhan Perikanan
Jl. Sempur No.1, Bogor, Jawa Barat 16129

(Naskah diterima: 17 Oktober 2019; Revisi final: 19 Maret 2020; Disetujui publikasi: 20 Maret 2020)

ABSTRAK

Beberapa tanaman air telah dilaporkan mampu meremediasi air yang tercemar senyawa berbahaya. Nonilfenol sebagai jenis surfaktan non ionik yang berbahaya perlu ditelaah potensi toksisitasnya bagi biota perairan dan mitigasi remediasinya menggunakan tanaman air. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan level toksisitas mematikan nonilfenol pada benih ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dan upaya meremediasi menggunakan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) yang diberi pupuk berbeda. Perlakuan konsentrasi toksisitas nonilfenol adalah: kontrol, 0,4 mg/L, 0,5 mg/L, 0,63 mg/L, 0,80 mg/L dan 1,0 mg/L. Padat tebar ikan uji sebanyak dua puluh ekor benih pada tiap akuarium kaca yang berisi 40 L air. Pergantian air dilakukan setiap hari sebanyak 200%. Pengamatan kematian ikan dilakukan pada jam ke 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24, 48, 72, dan 96. Tahapan berikutnya adalah remediasi nonilfenol dari media air menggunakan sistem resirkulasi dengan perlakuan: 1) kontrol air + nonilfenol 2,5 mg/L, 2) zeolite + nonilfenol 2,5 mg/L, 3) zeolit + tanaman air + nonilfenol 2,5 mg/L, 4) zeolite + tanaman air + pupuk kandang + nonilfenol 2,5 mg/L, dan 5) zeolite + tanaman air + pupuk hidroponik + nonilfenol 2,5 mg/L. Konsentrasi nonilfenol di air dianalisis menggunakan HPLC. Hasil uji menunjukkan bahwa nonilfenol menyebabkan kematian 100 % benih ikan nila dalam waktu kurang dari 48 jam pada konsentrasi 0,8 mg/L dengan nilai LC₅₀-96 jam sebesar 0,58 mg/L. Remediasi media air yang mengandung nonilfenol dengan konsentrasi 2,5 mg/L menggunakan tanaman eceng gondok membutuhkan waktu 1 hari sedangkan tanpa tanaman membutuhkan waktu 2 hari atau lebih. Dengan nilai LC₅₀-96 jam nonifenol di bawah 1.00 mg/L maka berdasarkan Kriteria Toksisitas Bahan dari Komisi Pestisida, Departemen Pertanian, Indonesia, maka nonilfenol tergolong dalam bahan berbahaya dengan daya racun yang sangat tinggi. Pengurangan konsentrasi nonilfenol sampai dengan 2.5 mg/L dapat dilakukan dengan menambahkan tanaman air eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) pada sistem resirkulasi

KATA KUNCI: nonilfenol; remediasi; eceng gondok (*Eichhornia crassipes*); ikan nila (*Oreochromis niloticus*)

ABSTRACT: *Nonylphenol, toxicity on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) seeds and its remediation using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). By: Muhamad Yamin, Eddy Supriyono, and Mulyasari*

*Certain species of aquatic plants are reported able to remediate water contaminated with harmful compounds. The toxicity of nonylphenol as one of the harmful non-ionic surfactants to farmed fish species has yet to be determined, including its remediation using aquatic plants. This study aimed to determine the lethal toxicity level of nonylphenol for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) seeds and its remediation using water hyacinth plants (*Eichhornia crassipes*). The nonylphenol treatments were arranged by separately mixing water with 0.0 mg/L (control), 0.4 mg/L, 0.5 mg/L, 0.63 mg/L, 0.80 mg/L and 1.0 mg/L of nonylphenol. Twenty tilapia seeds were placed into each glass aquarium containing 40 L of freshwater that had already been mixed with the different concentrations of nonylphenol. Water exchange was*

Korespondensi: Balai Riset Budidaya Ikan Hias.
Jl. Perikanan No. 13, Pancoran Mas, Depok, Indonesia
Tel. + 62 21 7520482
E-mail: yaminpaada@gmail.com

done every day as much as 200% using water pre-mixed with the nonylphenol concentrations. Observation of fish mortality was carried out at 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24, 48, 72, and 96 hours after the fish seeds were placed in the aquarium. The next stage experiment was the phytoremediation of the water contaminated with different additions of nonylphenol in a recirculation system: nonylphenol 2.5 mg/L; nonylphenol 2.5 mg/L + zeolite; nonylphenol 2.5 mg/L + zeolite + water hyacinth; nonylphenol 2.5 mg/L + water hyacinth + zeolite + manure; and nonylphenol 2.5 mg/L + water hyacinth + zeolite + hydroponic fertilizer (AB mix). Nonylphenol concentrations in water were determined using the HPLC method. The results of the first stage experiment showed that nonylphenol caused 100% mortality rate of tilapia seeds in less than 48 hours at a concentration of 0.8 mg/L. The LC_{50} -96 hour of nonylphenol on the Nile tilapia seeds was 0.58 mg/L. The complete remediation of 2.5 mg/L or less of nonylphenol using water hyacinth plants took one day while without plants took two days or more. Based on the Acute Aquatic Toxicity Criteria published by the Pesticide Commission of the Indonesian Agricultural Department, nonylphenol is categorized as a very high toxicity compound due to its LC_{50} -96 h value of concentration less than 1.00 mg L⁻¹. The results of this study provide evidence that water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) system could remediate water with a concentration of nonylphenol up to 2.5 mg/L.

KEYWORDS: nonylphenol; remediation; water hyacinth (*Eichhornia crassipes*); Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)

PENDAHULUAN

Kualitas lingkungan yang menurun akibat bahan pencemar yang berasal dari limbah pertanian, industri, dan rumah tangga menjadi salah satu masalah dalam kegiatan budidaya perikanan. Beberapa laporan menunjukkan bahwa perairan Indonesia telah tercemar mulai dari tingkatan sedang sampai berat seperti di Waduk Saguling, Waduk Cirata dan Waduk Juanda, Waduk Gajah Mungkur, Waduk Duriangkang, Sungai Citarum, DAS Keduang, DAS Bengawan Solo, DAS Alang Unggahan dan DAS Temon (Garno, 2001; Pujiastuti *et al.*, 2013; Hariyadi, 2006). Salah satu bahan kimia berbahaya yang mencemari perairan adalah nonilfenol. Nonilfenol merupakan surfaktan non-ionik yang merupakan produk turunan utama dari kelompok senyawa alkylphenolpolyethoxylates (APEs) (Junk *et al.*, 1974). Senyawa ini banyak dimanfaatkan untuk emulsifier dan surfaktan dalam produk industri dan rumah tangga seperti cat, plastik, kosmetik, bahan bangunan, karet vulkanisir, garmen, kertas, dan pelumas kendaraan (USEPA, 2005; Brigden *et al.*, 2012).

Di sisi lain, keberadaan nonilfenol memberikan dampak buruk bagi biota perairan (air laut dan air tawar) termasuk invertebrata, tanaman, dan ikan. USEPA (2005) melaporkan bahwa nonilfenol berpotensi menyebabkan toksik akut dan kronis serta berpotensi menyebabkan dampak negatif pada ekologi di semua trofik level dari spesies akuatik yang terpapar. Salah satu dampak nonilfenol adalah dapat mengganggu endokrin atau *endocrine disrupting chemicals* (EDC) (Christiansen *et al.*, 1998; Cardinali, 2004; Li & Wang, 2005). Nonilfenol juga dilaporkan menyebabkan gangguan pada perkembangan larva pada ikan *Rhinella arenarum* (Mariel *et al.*, 2014), gangguan pada organ reproduksi dan pertumbuhan ikan, amfibi, dan mamalia (Nagao *et al.*, 2001; Lukáčiová *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2015), kematian sel (*apoptosis*) pada spermatocytes, sertoli dan leydig-homologue di ikan

Medaka *Oryzias latipes* (Weber *et al.*, 2002), terhambatnya perkembangan jaringan testicular dan oogenesis pada ikan *Riulus marmoratus* (Tanaka & Grizzle, 2002), meningkatkan kerusakan struktur testikular ikan *Xiphophorus maculatus* (Kinnberg *et al.*, 2000), dan meningkatkan persentase larva tidak normal pada ikan *Rhinella arenarum* (Mariel *et al.*, 2014).

Terkait dengan dampak negatif yang ditimbulkan oleh nonilfenol pada berbagai organisme akuatik dan ikan budidaya, beberapa negara di Eropa dan Amerika menggolongkannya sebagai bahan berbahaya yang keberadaannya mendapat pengawasan ketat (USEPA, 2010; Eropa Commission, 2008). *Europe Commission* dalam *Water Framework Directive* (WFD) memasukkan nonilfenol sebagai bahan berbahaya yang mendapat prioritas (*priority hazardous substance*) (<http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/priority-substances.htm>). Sayangnya belum ada regulasi di Indonesia yang mengatur tentang pengawasan dan pengendalian nonilfenol agar tidak mencemari perairan khususnya di lingkungan perikanan budidaya.

Di Indonesia, cemaran nonilfenol telah terdeteksi di Sungai Cikamasan Kabupaten Bogor dengan konsentrasi mencapai $0,239 \pm 0,026 \mu\text{g L}^{-1}$ (Duong *et al.*, 2010). Selain itu Greenpeace (2013) melaporkan bahwa cemaran nonilfenol juga terdeteksi di Sungai Citarum, Jawa Barat yang disebabkan di antaranya oleh pembuangan limbah yang mengandung nonilfenol oleh industri garmen ke perairan Sungai Citarum. Adanya cemaran nonilfenol di perairan, diduga menjadi salah satu penyebab terganggunya kegiatan budidaya perikanan yang memanfaatkan sumber air dari perairan umum. Satu di antara komoditas ikan budidaya yang banyak dipelihara di Indonesia adalah ikan nila (*O. niloticus*).

Upaya untuk mempelajari pengurangan nonilfenol dari air dan media telah dilaporkan dalam berbagai kajian pustaka di antaranya dengan menggunakan

karbon aktif (Yu *et al.*, 2008), tanaman hias (Belmont & Metcalfe, 2003), biosolid (McNamara *et al.*, 2012), dan microalga (Gao *et al.*, 2011). Dalam penelitian ini, remediasi nonilfenol dari air menggunakan tanaman air eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). Tanaman ini dipilih karena eceng gondok telah dilaporkan memiliki kemampuan untuk remediasi air yang terkontaminasi bahan pencemar seperti zat pewarna (*dye*), chromium and copper (Shah *et al.*, 2010; Gao *et al.*, 2015; Sarkara *et al.*, 2017). Lebih lanjut Lagos *et al.* (2009) melaporkan bahwa eceng gondok mengurangi bahan organik sebesar 46–75% dan kandungan fenolik sebesar 11–17% yang terdapat pada limbah dari *kraft mill*. Namun demikian, kami belum menemukan laporan penggunaan eceng gondok untuk meremediasi nonilfenol. Sehubungan dengan hal tersebut di atas, maka dirasa perlu melakukan kajian mengenai tingkat toksisitas nonilfenol serta peluang tanaman air eceng gondok dalam meremediasinya nonilfenol. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan tingkat toksisitas akut nonilfenol pada ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dan upaya remediasinya menggunakan tanaman air eceng gondok (*Eichhornia crassipes*).

BAHAN DAN METODE

Uji Akut

Dua puluh ekor benih ikan nila digunakan sebagai ikan uji untuk masing-masing akuarium berukuran p:40 cm x l:50 cm x t:50 cm yang berisi 40 liter air dan dilengkapi aerasi. Sebelum diberi perlakuan, benih ikan diadaptasi selama seminggu dan diberi pakan komersil. Persiapan larutan nonilfenol *technical grade, mixture of ring and chain isomers* (Sigma: CAS No. 84852-15-3) dilakukan mengikuti metoda Yamin *et al.*, (2017). Penyiapan larutan untuk uji toksisitas diawali dengan pembuatan larutan stok 1 yaitu melarutkan nonilfenol kedalam ethanol absolut (Merck: Em. 1.00983.2500) sampai konsentrasi 64 g/L (stok 1). Kemudian menyiapkan larutan stok 2 dengan cara mencampurkan ethanol teknis dengan larutan stok 1 sampai mencapai konsentrasi 3,2 g/L. Stok 2 siap diaplikasikan untuk uji sesuai dengan konsentrasi yang ditentukan. Bila belum digunakan, larutan stok 1 dan stok 2 disimpan dalam ruang pendingin 4°C. Penelitian didesain dalam Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan enam perlakuan dan tiga ulangan. Penentuan konsentrasi yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan uji pendahuluan penggunaan nonilfenol kurang dari 0,1 mg/L menyebabkan ikan hidup 100% dan konsentrasi 1,0 mg/L atau lebih tinggi menyebabkan 100% ikan mati dalam waktu uji 96 jam. Penelitian ini menggunakan konsentrasi nonilfenol 0,00 mg/L (kontrol); 0,4 mg/L; 0,5 mg/L; 0,63 mg/L; 0,80 mg/L; dan 1,0 mg/L. Pergantian air pada akuarium uji dilakukan dengan cara

mangalirkan air dari bak penampungan (tandon) yang mengandung nonilfenol sesuai dengan konsentrasi yang ditentukan. Pergantian air dilakukan setiap hari sebanyak minimal 80 liter (200%) dari volume air di akuarium. Selama pemeliharaan ikan diberi pakan komersil. Pengamatan kematian ikan dilakukan pada jam ke-2, 4, 6, 8, 10, 12, 24, 48, 72, dan 96. Analisis nilai LC₅₀ nonilfenol pada ikan menggunakan uji regresi probit.

Pengurangan Nonilfenol Dalam Media Air

Prosedur ujicoba remediasi nonilfenol dari air adalah sebagai berikut: Penelitian dilakukan di dalam 15 akuarium persegi panjang yang diberi media dasar (zeolit), pupuk dan tanaman sesuai perlakuan. Uji remediasi nonilfenol dari air dilakukan dalam wadah akuarium kaca dengan sistem resirkulasi. Penelitian didesain dalam rancangan acak lengkap (RAL) dengan lima perlakuan konsentrasi nonilfenol dan tiga ulangan, yaitu: A. konsentrasi nonilfenol 2,5 mg/L; B. nonilfenol 2,5 mg/L + zeolite; C. nonilfenol 2,5 mg/L + zeolit + eceng gondok; D. nonilfenol 2,5 mg/L, + eceng gondok + zeolite + pupuk kandang; dan E. nonilfenol 2,5 mg/L + eceng gondok + zeolite + pupuk hidroponik (AB mix). Sebelum diberi perlakuan, tanaman diadaptasi dalam wadah uji selama seminggu. Perlakuan dilakukan dengan cara mengganti seluruh air dengan air yang mengandung nonilfenol (2,5 mg/L). Selanjutnya dilakukan pengamatan konsentrasi nonilfenol dan fisik-kimia air pada hari ke 1, 2, 4, 8, dan 16.

Analisis Konsentrasi Nonilfenol Dalam Air

Analisis konsentrasi nonilfenol di air dilakukan melalui tahapan ekstraksi nonilfenol menggunakan *Solid Phase Extractions* (SPE) dilanjutkan dengan pengamatan menggunakan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC). Ekstraksi nonilfenol diawali dengan menambah 1 M HCl ke dalam air sampel sehingga pH turun menjadi 3,5. Sementara SPE *column* dikondisikan dengan cara mengalirkan 3 mL acetonitrile (CH₃CN) (CAS No. 75-05-8), lalu dibilas dengan 3 mL ddH₂O. Sebanyak 250 mL air sampel dilewatkan ke dalam SPE *column* tersebut lalu dibersihkan dengan 3 mL methanol (CH₃OH) (CAS No. 67-56-1). Selanjutnya SPE *column* dielusi dengan 3 mL asetoneitrile. Hasil elusi dievaporasi sampai kering kemudian dilusi dengan 1 mL acetonitrile. Pengukuran kadar nonilfenol menggunakan HPLC (Column: C18). Eluent A: acetonitrile dan eluent B: methanol dengan perbandingan 50%:50%. Volume injeksi sampel 10 µL, *flow rate* 1 mL/min, suhu 40°C. Deteksi menggunakan UV 225nm.

Perubahan fisik-kimia air untuk amoniak dianalisis mengikuti SNI no 06-6989-30-2005, analisis nitrit (NO₂)

mengikuti SNI No. 06-6989-9-2004 dan analisis nitrat mengikuti metode Brusin Sulfat (SNI 06-2480-1991). Data kualitas air dianalisis menggunakan regresi dengan program excell dan disajikan dalam bentuk grafik.

Analisis pengaruh nonilfenol pada sintasan ikan menggunakan uji Anova. Hasil yang menunjukkan pengaruh nyata selanjutnya dianalisis dengan uji Tukey.

HASIL DAN BAHASAN

Toksitas Akut Nonilfenol

Pengaruh beberapa konsentrasi nonilfenol terhadap sintasan ikan nila pada jam ke-2 sampai jam ke-96 ditampilkan pada Gambar 1. Pada gambar tersebut terlihat bahwa ikan yang terpapar nonilfenol 0,80 mg/L mengalami kematian massal setelah lebih dari 2 jam dan semua ikan mengalami kematian pada jam ke-48. Sementara pada konsentrasi 0,63 mg/L atau lebih rendah terlihat kematian baru terjadi setelah lebih dari 8 jam. Bahkan pada konsentrasi nonilfenol 0,5 mg/L atau kurang, ikan yang mengalami kematian kurang dari 20% pada jam ke-96.

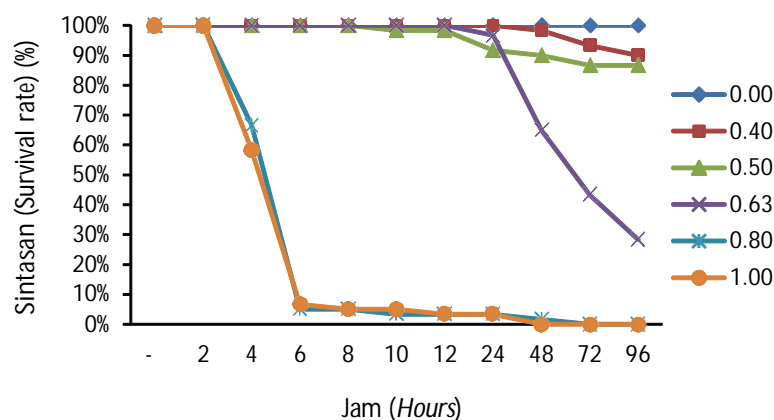
Hasil uji lanjut sintasan ikan nila pada jam ke-96 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang nyata antara kontrol dengan semua perlakuan nonilfenol. Lebih lanjut diketahui bahwa antara ikan yang dipapar dengan konsentrasi 0,80 mg/L dengan 1,0 mg/L nonilfenol tidak berbeda nyata namun berbeda terhadap perlakuan 0,63 mg/L; 0,5 mg/L; dan 0,3 mg/L (Gambar 2).

Hasil analisis LC_{50} pada jam ke-4 sampai jam ke-96 ditampilkan pada Gambar 3. Dari gambar tersebut terlihat pada jam ke-96 (LC_{50} -96 jam) terhadap ikan nila berada pada 0,58 mg/L. Lebih lanjut terlihat bahwa

LC_{50} dari jam ke-6 sampai 96 mengikuti pola linear sesuai dengan persamaan $y = -0,002x + 0,7539$, dengan nilai $R^2 = 0,9827$.

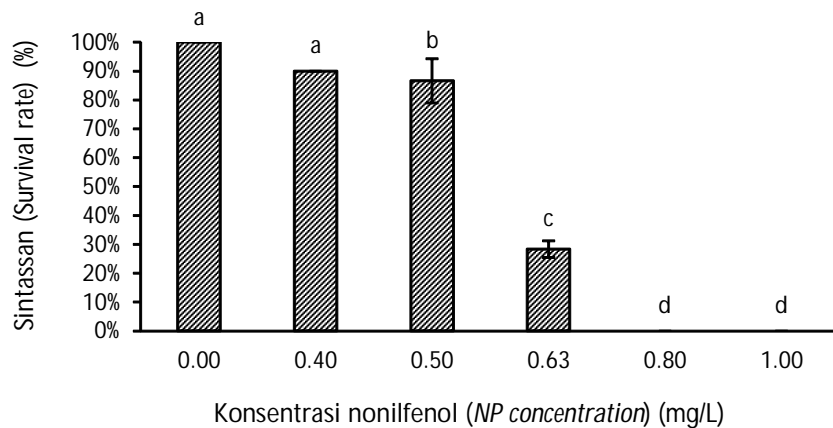
Nonilfenol terlihat memiliki tingkat toksisitas yang cukup tinggi pada benih ikan nila. Konsentrasi terendah nonilfenol yang dapat menyebabkan kematian 100% (LC_{100}) pada ikan nila adalah 0,8 mg/L. Hasil ini lebih tinggi dibanding konsentrasi toksik dari Linier Alkylbenzene Sulfonate (LAS) yang memiliki konsentrasi ambang atas sebesar 100 mg/L (Suparjo, 2010). Kematian ikan ini umumnya terjadi setelah jam ke-2 sampai 6 setelah ikan terpapar nonilfenol. Kematian mendadak ini diduga terjadi akibat ikan tidak dapat bernafas dan mati lemas atau dikenal sebagai sufokasi (*suffocation*). Sufokasi terjadi karena insang ikan memproduksi mukus secara berlebihan sehingga mengganggu proses pergantian gas di insang dan menyebabkan ikan kesulitan bernafas atau disebut asfiksia (*asphyxia*) (Supriyono *et al.*, 1998).

Dari hasil pengamatan menunjukkan bahwa ikan yang dipapar pada konsentrasi 1,0 mg/L, mati dengan kondisi mulut dan operculum terbuka lebar. Selain itu ditemukan juga ikan yang mati terdapat produksi lendir (mukus) yang berlebihan pada bagian luar insang dan seluruh permukaan tubuh. Terbukanya mulut dan operculum ini terjadi akibat dari meningkatnya volume mukus di insang ikan. Mukus adalah cairan licin yang mengandung banyak glikoprotein dan air yang dihasilkan oleh kelenjar mukus (*mucus glands*) (Esteban, 2012). Menurut Kurniasih & Tabbu (1994), bahwa meningkatnya produksi lendir di insang dan kulit ikan sebagai reaksi tubuh untuk menghindari dari dampak buruk bahan pencemar yang masuk ke dalam tubuh. Namun demikian produksi lendir yang berlebihan dapat mengancam kehidupan ikan karena



Gambar 1. Pola sintasan ikan nila setelah terpapar beberapa konsentrasi nonilfenol pada jam ke-2 sampai 96.

Figure 1. Survival rate patterns of Nile tilapia after exposed to various concentrations of nonylphenol between 2 and 96 hours.



Huruf yang sama menunjukkan antara perlakuan tidak berbeda nyata ($p > 0,05$)
 The same letters indicated that the treatments were not significantly different ($p > 0.05$)

Gambar 2. Sintasan ikan nila yang terpapar nonilfenol selama 96 jam pada berbagai konsentrasi.

Figure 2. Survival rate of Nile tilapia after 96 hours exposure to various concentrations of nonylphenol.

dapat menghambat proses pertukaran oksigen dan CO_2 di insang (Suparjo, 2010). Menurut Suparjo (2010), bahwa ikan yang terpapar deterjen dalam konsentrasi tertentu, akan mengalami peningkatan frekuensi pernafasan ikan dan konsumsi oksigen 2-3 kali lebih tinggi. Peningkatan ini terjadi akibat berkurangnya aliran air yang melewati insang akibat adanya gangguan dari polutan atau akibat adanya penyumbatan insang oleh gabungan antara mukus dengan zat polutan. Adanya penumpukan kompleks deterjen dan mukus (*coagulan*) yang bersifat tidak larut (*insolubel*) dapat menghalangi pertukaran gas di insang. Selain itu adanya senyawa surfaktan yang tinggi di air dapat menyebabkan kerusakan epitelium insang sehingga insang tidak dapat bekerja optimal untuk menyerap oksigen di air. Bila ini berlangsung terus maka akan diikuti dengan penurunan ritme pernafasan, ikan mengalami kehilangan keseimbangan, dan akhirnya mati lemas. Selain itu kematian ikan nila mungkin juga terjadi karena nonilfenol yang terserap masuk ke dalam tubuh ikan menyebabkan pecahnya sel dan berinteraksi dengan protein dan membran semi permeabel. Rusaknya sel-sel di insang menyebabkan berkurangnya fungsi insang dalam pertukaran gas (Supriyono *et al.*, 1998).

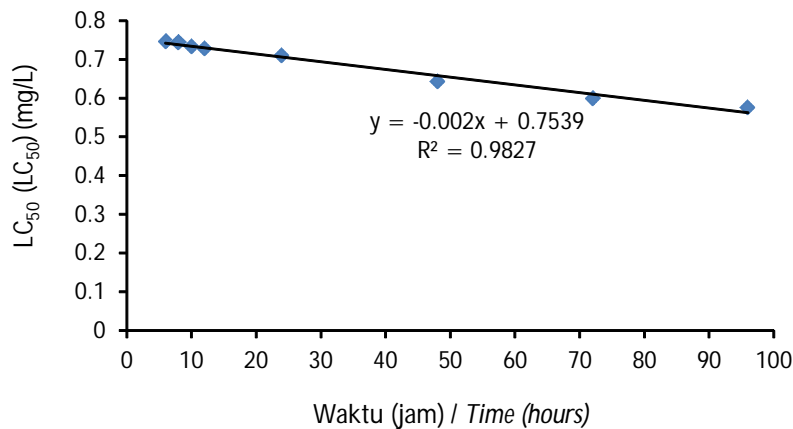
Hasil analisis probit menunjukkan nilai LC_{50} nonilfenol pada ikan nila mengalami penurunan dengan semakin lamanya waktu paparan. Hasil ini sejalan dengan hasil penelitian Supriyono *et al.* (2008) yang menyatakan bahwa semakin lama waktu pemaparan akan menyebabkan toksisitas surfaktan AS semakin tinggi pada post larva udang windu. Selain itu hasil penelitian ini mendukung pendapat Rai *et al.* (2011)

yang menyatakan bahwa efek polutan terhadap organisme tergantung dari konsentrasi dan lama pemaparan polutan.

Hasil uji akut nonilfenol pada ikan nila menunjukkan bahwa LC_{50} -96 jam nonilfenol yaitu 0,58 mg/L (Gambar 3). Berdasarkan hasil yang diperoleh maka terlihat bahwa ikan nila terlihat tahan terhadap nonilfenol dibandingkan dengan embrio dari ikan *Rhinella arenarum*, yang memiliki nilai LC_{50} -96 jam 0.37 mg/L (Mariel *et al.*, 2014). Namun demikian LC_{50} -96 jam ikan nila ini berada dalam kisaran LC_{50} pada ikan-ikan lain yaitu antara 0,13-1,4 mg/L (Naylor, 1995).

Pengurangan Nonilfenol Dalam Media Air

Pengaruh berbagai perlakuan terhadap pengurangan konsentrasi nonilfenol di media air pada hari ke-1 sampai hari ke-16 ditampilkan pada Gambar 4. Dari Gambar tersebut terlihat bahwa perlakuan tanaman eceng gondok (perlakuan C, D, dan E) dapat menurunkan nonilfenol lebih cepat dibanding tanpa tanaman. Namun demikian antara perlakuan eceng gondok yang diberi pupuk berbeda terlihat tidak ada perbedaan waktu yang signifikan. Pada hari pertama setelah pemberian nonilfenol terlihat konsentrasi nonilfenol sudah sangat jauh berkurang (98% atau lebih) di hampir semua perlakuan yang diberi tanaman eceng gondok. Sebaliknya tanpa adanya tanaman maka konsentrasi nonilfenol di air masih cukup tinggi yaitu berkisar 80 persen. Penurunan konsentrasi nonilfenol yang cukup besar pada media yang tidak terdapat tanaman eceng gondok baru terjadi pada hari ke-2, di mana kandungan nonilfenol pada perlakuan B sudah tidak terdeteksi dan pada kontrol tersisa sebesar 10%.



Gambar 3. Konsetrasi letal (LC₅₀) selama 6-96 jam paparan dari nonilfenol pada ikan nila.

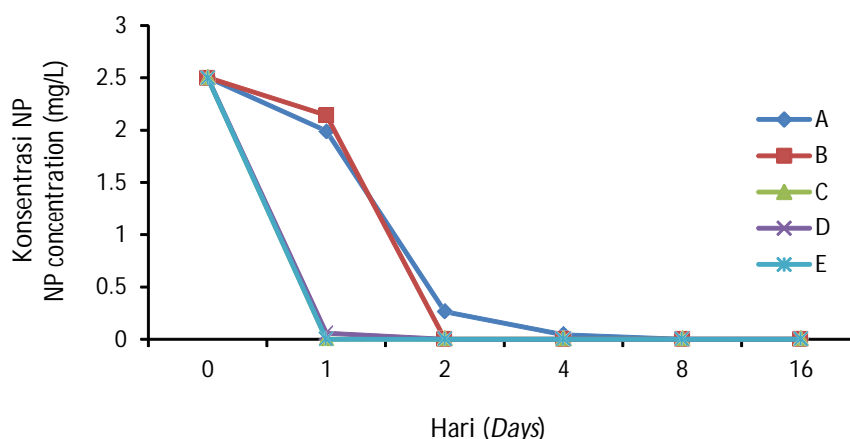
Figure 3. Lethal Concentration (LC₅₀) on 6-96 hours exposure of nonylphenol for nile tilapia.

Secara umum terlihat bahwa semua perlakuan termasuk kontrol terlihat memiliki kemampuan mengurangi konsentrasi nonilfenol di air. Walaupun demikian perlakuan yang menggunakan tanaman air terlihat mampu mengurangi nonilfenol lebih cepat dibanding perlakuan yang tanpa menggunakan tanaman air. Waktu yang diperlukan untuk mengurangi konsentasi nonilfenol di air dari 2,5 mg/L menjadi mendekati 0,0 mg/L adalah satu hari sedangkan perlakuan yang tanpa tanaman membutuhkan waktu dua hari. Berkurangnya konsentrasi nonilfenol di air pada perlakuan kontrol (tanpa tanaman dan zeolit) diduga terjadi karena penyerapan nonilfenol oleh akar tanaman eceng gondok dan juga adanya peran mikroorganisme pendegradasi nonilfenol (*biodegradable*), mikroalga, cahaya matahari (*photolysis*), dan resirkulasi (mekanis). Dari uji ini juga terlihat bahwa penambahan zeolit (perlakuan B) dan pemberian pupuk yang berbeda (perlakuan D dan E) pada media air terlihat tidak signifikan dalam mempercepat waktu pengurangan konsentrasi nonilfenol di air (Gambar 4). Tidak signifikannya pengaruh zeolit dan penambahan pupuk dalam penyerapan nonilfenol diduga karena bahan-bahan tersebut tidak berkontribusi langsung dalam menyerap nonilfenol khususnya pada dua hari pertama proses remediasi.

Toksitas nonilfenol di air terhadap benih ikan nila juga diamati dengan dengan cara memasukkan dua ekor benih ikan nila ke masing-masing bak perlakuan. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa semua benih ikan nila segera mati pada saat pertama kali dimasukkan larutan nonilfenol 2,5 mg/L. Namun saat benih ikan nila dimasukkan pada keesokan harinya ternyata hanya ikan pada perlakuan C, D, dan E yang dapat bertahan hidup sampai hari berikutnya.

Selanjutnya pada hari ke-2 saat diganti dengan ikan yang baru, ternyata semua ikan diperlakukan dapat bertahan hidup sampai selesai kegiatan penelitian (data tidak ditampilkan). Kematian ikan ini diduga ada hubungannya dengan penurunan konsentrasi nonilfenol di hari pertama dan kedua pada masing-masing perlakuan (Gambar 4). Sebaliknya kematian ikan tersebut diyakini bukan akibat amoniak dan nitrit karena konsentrasi kedua zat tersebut masih sangat rendah pada hari ke-0 dan ke-1. Sementara ketika konsentrasi amonia dan nitrat cukup tinggi seperti pada hari ke-16 (Gambar 5 dan 6), ternyata tidak ada ikan uji yang mengalami kematian.

Pengaruh eceng gondok dalam menurunkan konsentrasi nonilfenol di air diduga melalui penyerapan langsung atau akibat berasosiasi dengan organisme air lainnya. Adanya kemampuan beberapa tanaman dalam menyerap nonilfenol sudah dilaporkan pada penelitian sebelumnya. Bokem *et al.* (1998) melaporkan bahwa akar tanaman *Lycopersicon Esculentum*, *Triticum aestivum* *Atriplex hortensis* dapat menyerap nonilfenol (4-n-NP) secara langsung dan mengirimnya ke tunas dalam dengan metabolisme polar. Namun peningkatan konsentrasi nonilfenol dalam media dapat membatasi kemampuan akar tanaman dalam menyerap nonilfenol (Sjöström *et al.*, 2008). Sementara Doucette *et al.* (2005) melaporkan bahwa residu nonilfenol yang diremediasi dengan tanaman grass ditemukan di akar (98%), dan sisanya di daun dan bagian tanaman lainnya. Di samping diserap secara langsung, penyerapan nonilfenol juga terjadi secara tidak langsung di mana nonilfenol mengalami proses mineralisasi terlebih dahulu oleh mikroorganisme lalu diserap oleh tanaman. Hal ini disebabkan karena tanaman tidak dapat melakukan



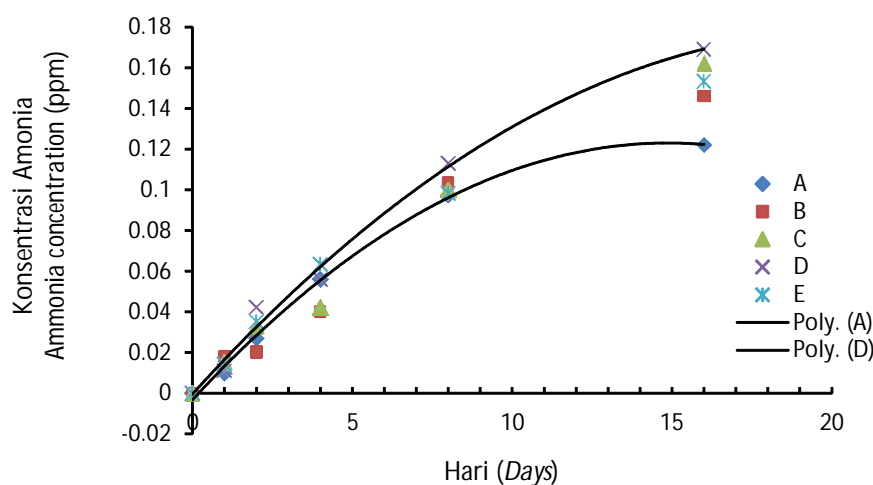
Gambar 4. Pengurangan konsentrasi nonilfenol di media air pada hari ke-1 sampai hari ke-16 dengan perlakuan remediator yang berbeda.

Figure 4. Reduction of nonylphenol concentration in water from the 1st to 16th day in different remediator treatments

mineralisasi nonilfenol (Bokem *et al.*, 1998). Namun demikian tidak semua tanaman dapat menyerap nonilfenol dimana Belmont & Metcalfe (2003) melaporkan bahwa ada atau tidaknya tanaman calla lily (*Zantedeschia aethiopica*) pada sistem *subsurface flow wetland* (SSFW) tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan untuk pengurangan nonilfenol dari media budidaya. Selain oleh tanaman eceng gondok, penurunan nonilfenol mungkin pula disebabkan adanya organisme lain (mikroorganisme, phytoplankton, atau zooplankton) yang terikat bersama eceng gondok saat pemindahan tanaman tersebut. Kemampuan mikroorganisme dan mikroalga dalam mendegradasi nonilfenol sudah dilaporkan (Yu *et al.*, 2012; Gao *et al.*, 2011).

Ammonia, Nitrit, dan Nitrat

Amonia (NH_3), nitrit (NO_2), dan nitrat (NO_3) adalah senyawa anorganik yang terbentuk dari mineralisasi bahan organik khususnya protein dan asam amino terutama berasal dari metabolisme ikan dan sisa pakan yang tidak termakan (Djokosetiyanto *et al.*, 2006; USEPA, 2002). Keberadaan senyawa ini di air pada konsentrasi tertentu dapat meracuni dan membahayakan kehidupan ikan. Konsentrasi amonia di media air pada masing-masing perlakuan dari hari ke pertama sampai hari ke-16 menunjukkan adanya peningkatan di masing-masing perlakuan (Gambar 5). Adanya peningkatan amonia pada masing-masing perlakuan terjadi karena penelitian ini menggunakan

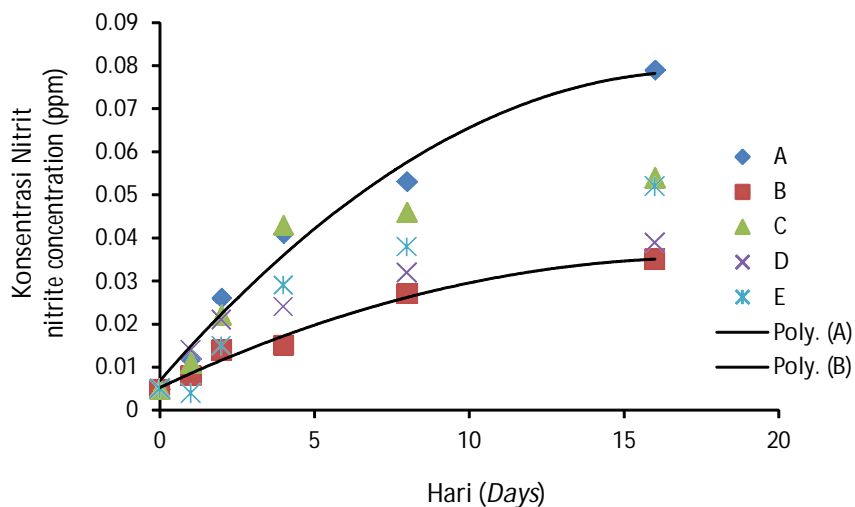


Gambar 5. Konsentrasi amonia air uji dengan perbedaan perlakuan remediasi selama penelitian.

Figure 5. Concentrations of ammonia in water treated with different remediators during the experiment.

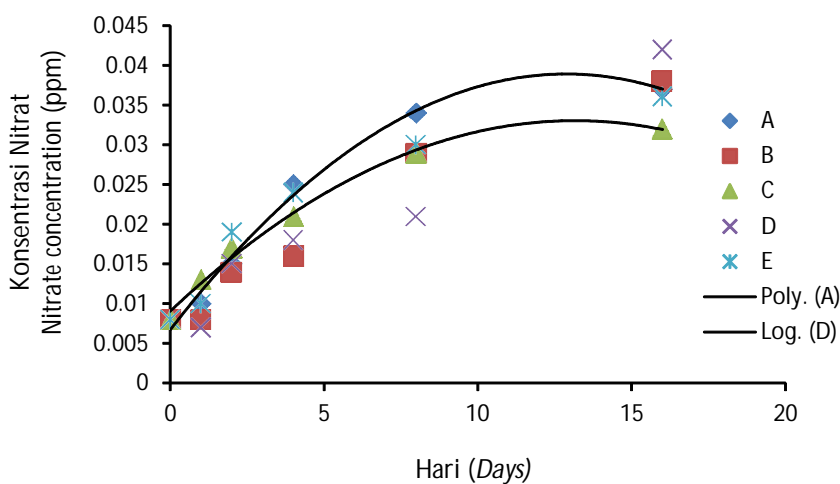
sistem resirkulasi yang menyebabkan terakumulasi bahan organik dan anorganik dalam sistem (Djokosetyanto *et al.*, 2006). Pada hari ke-16 terlihat bahwa konsentrasi amonia pada media yang diberi perlakuan tanaman terlihat lebih tinggi dibanding pada perlakuan tanpa tanaman. Lebih tingginya kadar amonia pada perlakuan C, D, dan E diduga berasal dari pembusukan tanaman seperti daun dan akar yang rusak akibat terpapar nonilfenol pada saat awal kegiatan. Konsentrasi amoniak ($\text{NH}_3\text{-N}$) pada akhir pengamatan cukup tinggi dibanding ambang batas baku mutu yang dipersyaratkan dalam Peraturan Pemerintah (PP) No. 82 tahun 2001 untuk budidaya ikan ($\leq 0,02$ mg/L).

Secara umum konsentrasi nitrit (NO_2) dan nitrat (NO_3) di masing-masing perlakuan masih berada di bawah ambang baku mutu yang dipersyaratkan dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 tahun 2001 yaitu berturut-turut 0,06 dan 10 mg/L (Gambar 6 dan 7). Namun demikian konsentrasi nitrit dan nitrat di air selama penelitian menunjukkan adanya peningkatan di semua perlakuan. Hasil ini menunjukkan bahwa pada media tersebut terjadi proses nitrifikasi yaitu proses perombakan amonia menjadi nitrit dan nitrat yang tidak berbahaya. Proses nitrifikasi ini umumnya melibatkan bakteri-bakteri yang berperan dalam proses oksidasi amonia menjadi



Gambar 6. Konsentrasi nitrit air uji dengan perbedaan perlakuan remediasi selama penelitian.

Figure 6. Concentrations of nitrite in water treated with different remediators during the experiment.



Gambar 7. Konsentrasi nitrat air uji dengan perbedaan perlakuan remediasi selama penelitian.

Figure 7. Concentrations of nitrite in water treated with different remediators during the experiment.

nitrit dan nitrat seperti *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrospira*, *Nitrosolobus*, dan *Nitrosovibrio* (Hastuti et al., 2011).

KESIMPULAN

Tingkat toksisitas nonilfenol menyebabkan kematian 100% benih ikan nila (*O. niloticus*) pada konsentrasi 0,80 mg/L atau lebih dengan waktu kurang dari 48 jam. Nilai LC_{50} -96 jam nonilfenol terhadap benih ikan nila adalah sebesar 0,58 mg/L. Pengurangan konsentrasi nonilfenol dari konsentrasi 2,5 mg/L dapat dilakukan dengan menambahkan tanaman air eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) yang diletakkan pada sistem resirkulasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan pada Bayu dan Nian atas bantuan dalam analisis kualitas air dan perawatan ikan selama pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Belmont, M.A. & Metcalfe, C.D. (2003). Feasibility of using ornamental plants (*Zantedeschia aethiopica*) in subsurface flow treatment wetlands to remove nitrogen, chemical oxygen demand and nonylphenol ethoxylate surfactants-a laboratory-scale study. *Ecological Engineering*, 21(2003), 233-247.
- Brigden, K., Santillo, D., & Johnston, P. (2012). Nonylphenol ethoxylates (NPEs) in textile products, and their release through laundering. Greenpeace Research Laboratories Technical Report. 01/2012, 14 hlm.
- Bokem, M., Raid, P., & Harms, H. (1998). Toxicity, Uptake and Metabolism of 4-n-Nonylphenol in Root Cultures and Intact Plants under Septic and Aseptic Conditions. *Environmental Science & Pollutant Research*, 5(1), 21-27.
- Christiansen, T., Korsgaard, B., & Jespersen, A. (1998). Effects of nonylphenol and 17 α -oestradiol on vitellogenin synthesis, testicular structure and cytology in male Eelpout *Zoarces viviparus*. *The journal of experimental biology*, 201, 179-192.
- Cardinali, M., Maradonna, F., Olivotto, I., Bortoluzzi, G., Mosconi, G., Polzonetti, Magni, A.M., & Carnevali, O. (2004). Temporary impairment of reproduction in freshwater teleost exposed to nonilfenol. *Reproductive toxicology*, 18, 597-604.
- Djokosetiyanto, D., Sunarma, A., & Widanarni. (2006). Perubahan Amonia (NH₃-N), Nitrit (NO₂-N), dan Nitrat (NO₃-N) Pada Media Pemeliharaan Ikan Nila Merah (*Oreochromis sp.*) di Dalam Sistem Resirkulasi. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 5(1), 13-20.
- Doucette, W.J., Wheeler, B.R., Chard, J., Bugbee, B., Naylor, C.G., Carbone, J.P., & Sims, R.C. (2005). Uptake of nonylphenol and nonylphenol ethoxylates by crested wheatgrass. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 24(11), 2965-72.
- Duong, C.N., Ra, J.S., Cho, J., Kim, S.D., Choi, H.K., Park, J.H., Kim, K.W., Inam, E. & Kim, S.D. (2010). Estrogenic chemicals and estrogenicity in river waters of South Korea and seven Asian countries. *Chemosphere*, 78, 286-293.
- Eropa Commission. (2008). Priority Substances and Certain Other Pollutants according to Annex II of Directive 2008/105/EC. https://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/priority_substances.htm.
- Esteban, M.Á. (2012). An Overview of the Immunological Defenses in Fish Skin. *International Scholarly Research Network (ISRN) Immunology*, 2012, Article ID 853470, 29 pp.
- Gao, Q.T., Wong, Y.S., & Tam, N.F. (2011). Removal and biodegradation of nonylphenol by different *Chlorella* species. *Marine Pollution Bulletin*, 63 (5-12), 445-51.
- Gao, J., Dang, H., Liu, L., & Jiang, L. (2015). Remediation effect of contaminated water by water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms). *Journal Desalination and Water Treatment*, 55(2), 1-8.
- Garno, Y.S. (2001). Status Dan Karakteristik Pencemaran di Waduk Kaskade Citarum. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 2(2), 207-213.
- Greenpeace. (2013). *Toxic Threads: Merauni Surga*. Jakarta (ID). Greenpeace International.
- Hariyadi, R. (2006). Pengaruh pencemaran limbah industri dan domestik terhadap kualitas air Waduk Duriangkang. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 7(3), 271-276.
- Hastuti Y.P. (2011). Nitrifikasi dan denitrifikasi di tambak. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 10(1), 89-98.
- Junk, G.A., Svec, H.J., Vick, R.D., & Avery, M.J. (1974). Contamination of water by synthetic polymer tubes. *Environmental Science and Technology*, 8, 1100-1106.
- Kinnberg, K., Korsgaard, B., Bjerregaard, P., & Jespersen, Å. (2000). Effects of Nonylphenol and 17 α -Estradiol on Vitellogenin Synthesis and Testis Morphology in Male Platyfish *Xiphophorus maculatus*. *The Journal of Experimental Biology*, 203, 171-181.

- Komisi Pestisida. (1983). *Pedoman Umum Pengujian Laboratorium Toksisitas Letal Pestisida pada Ikan Untuk Keperluan Pendaftaran*. Jakarta (ID): Komisi Pestisida, Departemen Pertanian.
- Kurniasih & Tabbu, C.R. (1994). *Patologi Umum Gangguan Pertumbuhan dan Gangguan Metabolisme Sel*. Lab. (51 him.). Yogyakarta (ID): Patologi Fakultas Kedokteran Hewan. Universitas Gadjah Mada.
- Lagos, C., Urrutia, R., Decap, J., Martínez, M., & Vidal G. (2009). *Eichhornia crassipes* used as tertiary color removal treatment for Kraft mill effluent. *Desalination*, 246(1-3), 45-54.
- Lee, C.C., Jiang, L.Y., Kuo, Y.L., Chen, C.Y., Hsieh, C.Y., Hung, C.F., & Tien, C.J. (2015). Characteristics of nonylphenol and bisphenol A accumulation by fish and implications for ecological and human health. *Science of the Total Environment*, 502, 417-425.
- Li, M.H. & Wang, Z.R. (2005). Effect of nonylphenol on plasma vitellogenin of male adult guppies (*Poecilia reticulata*). *Environmental Toxicology*, 20(1), 53-9.
- Lukáčiová, J., Kòazická, Z., Tvrda, E., Massányi, P., & Lukáč, N. (2013). The toxic effect of 4-nonylphenol on male reproductive. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 1, 1455-1468.
- Mariel, A.C., Alejandrab, B.P., & Silvia, P.C.C. (2014). Developmental toxicity and risk assessment of nonylphenol to the South American toad, *Rhinella arenarum*. *Environmental toxicology and pharmacology*, 38, 634-642.
- McNamara, P.J., Wilson, C., Wogen, M.W., Murthy, S., Novak, J.T., & Novak, P.J. (2012). The Effect of Thermal Hydrolysis Pretreatment on the Anaerobic Degradation of Nonylphenol and Short-Chain Nonylphenol Ethoxylates in Digested Biosolids. *Water Research*, 46(9), 2937-2946.
- Nagao, T., Wada, K., Marumo, H., Yoshimura, S., & Ono, H. (2001). Reproductive effects of nonilfenol in rats after gavage administration a two-generation study. In *Reproductive toxicology*, 5, 293-315.
- Naylor, C.G. 1995. Environmental fate and safety of nonylphenol ethoxylates. *Textile Chemists and Colorists*, 27, 29-33. <https://pdfs.semanticscholar.org/6593/54f6c71a2f7c8776baf68b24567f03075fa6.pdf>.
- Pujiastuti, P., Ismail, B., & Pranoto. (2013). Kualitas dan Beban Pencemaran Perairan Waduk Gajah Mungkur. *Jurnal EKOSAINS*, V(1), 59-75.
- Rai, R., Rajput, M., Agrawal, M., & Agrawal, S.B. (2011). Gaseous Air Pollutants: A Review on Current and Future Trends of Emissions and Impact On Agriculture. *Journal of Scientific Research*, 55, 77-102.
- Sarkara, M., Rahmana, A.K.M.L., & Bhoumik, N.C. (2017). Remediation of chromium and copper on water hyacinth (*E. crassipes*) shoot powder. *Water Resources and Industry*, 17, 1-6.
- Sjöström, Å.E., Collins, C.D., Smith, S.R., & Shaw G. (2008). Degradation and plant uptake of nonylphenol (NP) and nonylphenol-12-ethoxylate (NP12EO) in four contrasting agricultural soils. *Environmental Pollution*, 156, 1284-1289.
- Shah, R.A., Kumawat, D.M., Singh, N., & Wani, K. A. (2010). Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) as A Remediation Tool for Dye-Effluent Pollution. *International Journal of Science and Nature*, 1(2), 172-178.
- Suparjo, M.N. (2010). Kerusakan Jaringan Insang Ikan Nila *Oreochromis Niloticus* L Akibat Deterjen. *Jurnal Saintek Perikanan*, 5(2), 1-7.
- Supriyono, E., Takashima, F., & Stussmann, C.A. (1998). Toxicity of linear alkylbenzene sulphonate (LAS) to juvenile kuruma shrimp, *Penaeus japonicus*: a histopathological study on acute and sub-chronic levels. *Journal of Tokyo University of Fisheries*, 85(1), 1-10.
- Supriyono, E., Berlianti, & Nirmala, K. (2008). Studi Mengenai Toksisitas Surfaktan Deterjen, Alkyl Sulfate (As), Terhadap Post Larva Udang Windu *Penaeus monodon* Fabr. *Jurnal Ilmu-ilmu Perairan dan Perikanan Indonesia*, 15(2), 141-148.
- Tanaka, J.N. & Grizzle, J.M. (2002). Effects of nonylphenol on the gonadal differentiation of the hermaphroditic fish, *Riulus marmoratus*. *Aquatic Toxicology*, 57, 117-125.
- USEPA. (2002). Nitrification. Office of Ground Water and Drinking Water. Pennsylvania Ave., NW Washington D.C.
- USEPA. (2005). *Aquatic Life Ambient Water Quality Criteria-Nonylphenol*. Final. Office of Water, Office of Science and Technology, Washington, DC. EPA-822-F-05-003.
- USEPA. (2010). *Nonylphenol (NP) and Nonylphenol Ethoxylates (NPEs), Action Plan*. [RIN2070-ZA09]. https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/rin2070-za09_np-npes_action_plan_final_2010-08-09.pdf
- Weber, L.P., Yiannis, K., Hwang, G.S., Niimi, A.J., Janz, D.M., & Metcalfe, C.D. (2002). Increased cellular apoptosis after chronic aqueous exposure to nonilfenol and quercetin in adult medaka (*Oryzias latipes*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part C Pharmacology, Toxicology and Endocrinology*, 131, 51-59.

- Yamin, M., Supriyono, E., Nirmala, K., Zairin, Jr.M., Haris, E., & Rahmawati, R. (2017). The effect of nonylphenol on spermiogram, hematological properties and reproductive ability of comet goldfish (*Carassius auratus*). *AAFL Bioflux*, 10(4), 787-796.
- Yu, D.U., Kim D.M., Chung, Y.H., Lee, Y.B., & Kim, Y.M. (2012). Isolation and Characterization of Nonylphenol-degrading Bacteria. *Fisheries and Aquatic Science*, 15(2), 91-97.
- Yu, Z., Peldszus, S., & Huck, P.M. (2008). Adsorption characteristics of selected pharmaceuticals and an endocrine disrupting compound Naproxen, carbamazepine and nonilfenol on activated carbon. *Water Research*, 42(12), 2873-2882.