SENYAWA PENCEMAR ORGANIK YANG PERSISTEN (POPs): PENGERTIAN, JENIS, KARAKTERISTIK, DAN PERKEMBANGANNYA DI INDONESIA

Ita Wulandari^{1*} & Dede Falahudin¹

¹Pusat Penelitian Oseanografi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

Jl. Pasir Putih I, Ancol Timur, Jakarta Utara 14430

*Alamat email: ita.wulandari@lipi.go.id

ABSTRACT

Persistent organic pollutants (POPs) have been identified as representing a serious threat to the marine environment and received formal attention by nations worldwide including Indonesia as one of the signatories and ratified countries for the Stockholm Convention. Due to their emerging issues, the study of POPs at all aspects is needed. Therefore, this paper attempts to review characteristics and toxicological properties of POPs, the current status of POPs National Implementation Plans (NIPs) in Indonesia, and propose future directions of POPs study in Indonesia from basic research such as monitoring of POPs distribution in Indonesian seas to applied research for example study of POPs alternative compounds.

Keywords: POPs, Stockholm Convention, regulation, NIPs, Indonesia.

PENDAHULUAN

Semakin meningkatnya ilmu pengetahuan dan teknologi mendorong perubahan sektor penggerak ekonomi dari *carbohydrate-based economy* ke arah *petrochemical-based economy* (Bronson et al., 2011; Morris, 2006). Penggunaan tanaman sebagai bahan baku primer dalam dunia industri dinilai kurang efektif dan efisien terutama dalam penggunaannya yang membutuhkan banyak biomassa (Morris, 2006; Poliakoff & Licence, 2007). Sedangkan petrokimia terdiri atas komponen hidrogen dan karbon dinilai memiliki keunggulan dalam efisiensi dan aplikasi pada masa revolusi industri (Bartrons et al., 2016). Bahan bakar fosil selain digunakan sebagai bahan bakar dan pelumas, juga diaplikasikan dalam industri bahan peledak, pestisida, plastik, cat, farmasi, kosmetik, tekstil, karet, aspal, dan sebagainya (Morris, 2006).

Permasalahan muncul karena produk sintesis yang di awal produksinya sangat berguna namun akibat dari penggunaannya yang tidak ramah lingkungan menimbulkan efek samping berupa bahan beracun dan berbahaya bagi manusia (Bartrons et al., 2016). Contohnya penggunaan insektisida DDT dalam membasmi nyamuk malaria yang dinilai efektif mengurangi wabah (Elyazar et al., 2011). Namun senyawa ini berbahaya bagi manusia karena memiliki sifat yang persisten di lingkungan sehingga sulit terdegradasi (Thompson et al., 2019). Kelompok senyawa ini kemudian dikenal sebagai *persistent organic pollutants* (POPs) (Ávila & García, 2015).

Struktur senyawa kimia golongan POPs sangat kompleks yaitu terdiri dari ikatan karbon, hidrogen, dan mengandung unsur non logam lainnya. Sifatnya yang persisten dan bioakumulatif menyebabkan senyawa POPs dapat terdistribusi secara global (Fiedler et al., 2019). Selain itu,

ketika terpapar manusia, senyawa POPs yang beracun dapat menimbulkan masalah kesehatan seperti kanker, cacat lahir, kerusakan sistem imun, system reproduksi, kematian dan penurunan daya ingat (UNEP, 2002; van der Gon et al., 2007). Oleh karena itu, senyawa POPs perlu terus dimonitoring dan diwaspadai mengingat dampaknya yang sangat besar terhadap kesehatan lingkungan dan manusia.

Senyawa POPs pertama kali diusulkan oleh *United Nations on Environmental Programme* (UNEP) pada bulan Februari 1997 dalam Sidang *World Health Organization* (WHO) dan diatur pada bulan Mei 1997. Selanjutnya, pada bulan Juni 1998, Komisi Antar-Pemerintah memutuskan pengaturan mengenai senyawa POPs ditingkatkan menjadi sebuah konvensi. Maka, pada tanggal 23 Mei 2001 diadakan Konvensi Stockholm dengan rangka melindungi kesehatan manusia dan lingkungan hidup dari bahan POPs dengan cara melarang, mengurangi, membatasi produksi dan penggunaannya, serta mengelola timbunan bahan POPs yang berwawasan lingkungan (UNEP, 2002). Sebanyak 151 negara termasuk Indonesia, telah menandatangani *Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants* (Konvensi Stockholm tentang Bahan Pencemar Organik yang Persisten). Konvensi Stockholm mulai berlaku (*entry into force*) pada tanggal 17 Mei 2004.

Penelitian mengenai POPs telah banyak dilakukan di beberapa negara penandatanganan Konvensi Stockholm. Kontaminasi senyawa POPs di lingkungan telah diteliti di Indonesia (Falahudin, 2012; Ilyas et al., 2011), Selandia Baru (Coakley

et al., 2018), Cina (Han & Currell, 2016), dan Norwegia (Johanson et al., 2020). Dibandingkan dengan penelitian di negara-negara penandatanganan konvensi stockholm lainnya, penelitian di Indonesia mengenai POPs masih terbatas.

Oleh karena itu, ulasan ini akan mencoba untuk memberikan informasi secara komprehensif terkait dengan senyawa POPs seperti: jenis, karakteristik dan aspek toksikologi dasar senyawa POPs, perkembangan penelitian dan aspek legal penanganannya di Indonesia, dan yang terakhir terkait dengan saran dan rekomendasi penelitian yang dapat dilakukan di Indonesia terkait dengan senyawa POPs.

JENIS, KARAKTERISTIK, DAN ASPEK TOKSIKOLOGI SENYAWA POPs

Jumlah total senyawa POPs hasil Konvensi Stockholm dari tahun 2001 sampai 2019 ada sekitar 28 senyawa yang terbagi menjadi tiga kelompok yaitu kelompok pestisida, kelompok bahan kimia industri, dan kelompok produk sampingan (Tabel 1). Pengelompokan senyawa POPs tersebut berdasarkan beberapa kriteria mengacu pada sifat-sifat dasarnya (Matthies et al., 2016). Adapun kriterianya adalah mudah menguap pada tekanan uap <1000 Pa, memiliki waktu paruh yang lama seperti di udara >2 hari, di air >2 bulan, di tanah dan di sedimen >6 bulan, memiliki nilai koefisien oktanol-air (K_{ow}) minimal 5 sehingga akan terkonsentrasi dalam jaringan organism, dan berdampak buruk terhadap kesehatan makhluk hidup dan lingkungan (Fiedler et al., 2019).

Tabel 1. Jenis senyawa POPs hasil Konvensi Stockholm tahun 2001, 2009, 2013, 2015, 2017, dan 2019.

No	Kelompok	Tahun konvensi	Nama Senyawa
1	Pestisida	2001	Dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT), Aldrin, Endrin, Dieldrin, Chlordane, Heptachlor, Mirex, Toxaphene
		2009	Chlordecone, Alpha hexachlorocyclohexane (α -HCH), Beta-Hexachlorocyclohexane (β -HCH)
		2011	Endosulfan
		2015	Pentachlorophenol
		2019	Dicofol
2	Bahan kimia industri	2001	Polychlorinated Biphenyl (PCB)
		2009	Hexabromobiphenyl (HBB), Hexa-, Hepta-, Tetra- dan Pentabromodiphenyl Ether (PBDE), Pentachlorobenzene (PeCBz), Perfluorooctane Sulfonic Acid (PFOS)
		2013	Hexabromocyclododecane (HBCD)
		2017	Decabromodiphenyl ether, <i>Short Chain chlorinated</i> paraffins (SCCPs)
		2019	Perfluorooctanoic acid (PFOA), its salts and PFOA-related compounds
3	Produk sampingan	2009	Polychlorinated Biphenyl (PCB), Polychlorinated Dibenzo- <i>para</i> -Dioxins (PCDD), Polychlorinated Dibenzofurans (PCDF), Hexachlorobenzene (HCB), Pentachlorobenzene (PeCB)
		2011	Alpha Hexachlorocyclohexane (α -HCH), Beta-Hexachlorocyclohexane (β -HCH)
		2015	Hexachlorobutadiene (HCBD), Polychlorinated naphthalenes (PCNs)

Kelompok pestisida yang termasuk dalam senyawa POPs adalah jenis pestisida organoklorin (OCP) yang mengandung unsur klorin. Penggunaan golongan pestisida POPs ini secara umum untuk membasmi serangga mulai dari nyamuk, semut dan rayap yang mengganggu produktifitas tanaman teh, buah dan sayur (O'Sullivan & Sandau, 2013; Song et al., 2019). Efektifitas golongan pestisida organoklorin ini dalam membasmi hama dapat dilihat dari dosis letal (LD50) nya. LD50 dinyatakan dalam milligram berat bahan uji per kilogram berat badan (BB) hewan uji yang menghasilkan 50% respon

kematian populasi hewan uji dalam jangka waktu tertentu. Sebagai contoh, DDT memiliki nilai LD50 yaitu 113–450 mg/kg BB (Walker et al., 2012), aldrin, dieldrin, metoksiklor dan toxaphene dengan LD50 40–60 mg/kg BB, lindane dengan LD50 yaitu 56–250 mg/kg BB dan Chloredecone dengan LD50 yaitu 190–200 mg/kg BB (Newhouse et al., 2009).

Selanjutnya adalah kelompok bahan kimia industri yang umumnya digunakan sebagai katalis ataupun prekursor dalam pembuatan senyawa lainnya. Sebagaimana yang tertera dalam Tabel 1, kelompok ini terdiri dari PBDE, HBB, PFOS dan SCCP

(Abbasi et al., 2019; Chen et al., 2011; Longpré et al., 2020; van Mourik et al., 2016). Berdasarkan penggunaannya, ada beberapa senyawa dikelompokkan ini yang dipakai untuk bahan tahan panas dan insulator panas pada peralatan elektronik ataupun bangunan seperti PBDE, HBB, dan HBCD (Abbasi et al., 2019); (Chen et al., 2011). Adapun senyawa lainnya, seperti PFOS biasanya digunakan sebagai surfaktan dalam industri pelat logam (Longpré et al., 2020), SCCP digunakan dalam produk industri logam, pelumas, bahan aditif *plasticizer*, bahan anti bakar, bahan tambahan cat, *sealants* dan karet (van Mourik et al., 2016).

Adapun untuk kelompok bahan kimia sampingan, senyawa POPs tersebut merupakan hasil sampingan dari proses pembakaran tidak sempurna. Produk sampingan POPs (Tabel 1) umumnya adalah senyawa dioksin. Termasuk di dalamnya PCDD, PCDF dan PCB merupakan senyawa organik yang dikenal sebagai hidrokarbon terklorinasi (WHO, 2000). Beberapa sifat PCB yaitu sangat stabil, tidak reaktif, volatilitasnya rendah, sangat persisten terhadap perombakan oleh mikroba dan secara fotokimia, serta sangat larut dalam lipid (Perelló et al., 2010). Sebagai produk sampingan, senyawa PCB dan HCB berasal dari industri pembuatan pelarut organoklorin (Liu et al., 2018), HBDE dihasilkan dari industri polistirena (Pivnenko et al., 2017) dan PCN dihasilkan dari daur ulang limbah kayu (Koyano et al., 2019). Di Jepang, bahan yang mengandung produk sampingan POPs ini didaur ulang dan dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik (Koyano et al., 2019).

Aspek toksikologi dari 28 senyawa POPs menunjukkan adanya potensi kanker dan mutagen bagi kesehatan manusia. Ketika penggunaan senyawa pestisida,

bahan kimia industri, dan produk sampingannya tidak sesuai objek sasaran, misalnya karena terpapar, diduga mampu meningkatkan kadar radikal bebas. Seperti umumnya senyawa POPs, sifat hidrofobik pestisida menembus dan mudah terakumulasi dalam lipid dan membran sel sehingga viabilitasnya mulai terganggu (Allen et al., 2013). Kemudian dalam kondisi akut, sebagai contoh paparan DDT dalam sel tubuh, dapat menimbulkan perubahan pada sistem metabolisme termasuk di dalamnya pembengkakan, peningkatan kadar radikal bebas kemudian mengarah pada tumbuhnya sel endotel *fibroblast* and vaskular (Thompson et al., 2019). Parkinson dan alzheimer adalah penyakit sistem saraf yang ditimbulkan oleh senyawa POPs (Grova et al., 2019). Bersama dengan senyawa patogen neurotoksik lainnya seperti timbal, merkuri, aluminium, kadmium, dan arsenik, aktivitas senyawa ini secara langsung menyerang sistem saraf sehingga menyebabkan hilangnya memori dan reduksi aktifitas motorik (Chin-Chan et al., 2015). Selain itu, efek radikal bebas pada POPs pestisida bermacam-macam seperti HCH yang menyebabkan kanker pada manusia (ATSDR, 2005), endosulfan yang menyerang sistem saraf pusat (Song et al., 2019), pestisida organoklorin turunan cyclopentadiene (chlordane, heptachlor, mirex) yang mempengaruhi sistem reproduksi manusia (Wrobel & Mlynarczuk, 2017), dan pentaklorofenol yang menyebabkan kanker dan perubahan sistem imun (Martin et al., 2019). Senyawa sampingan POPs yaitu dioksin dan furan dapat mengganggu keseimbangan lingkungan dan ditemukan dalam darah manusia (Coakley et al., 2018).

PERKEMBANGAN DAN PENANGANAN SENYAWA POPs DI INDONESIA

Indonesia sebagai salah satu dari 152 negara penanda tangan Konvensi Stockholm mempunyai kewajiban untuk peningkatan pemahaman masyarakat terhadap senyawa POPs (Gambar 1). Pemerintah Indonesia sudah bekerjasama dengan PBB dalam rangka membuat roadmap kerja mengimplementasikan

hasil-hasil dari Konvensi Stockholm sejak tahun 2001 sampai saat ini (Gambar 2).

Dimulai dari tahun 2009, sebagai negara yang ikut menandatangani Konvensi Stockholm tahun 2001, Indonesia kembali ikutserta meratifikasi Konvensi Stockholm pada tahun 2009 melalui penerbitan Undang-Undang Republik Indonesia No.19/2009 tentang Pengesahan *Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants* (Konvensi Stockholm Tentang Bahan Pencemar Organik Yang Persisten).

Gambar 1. Sebaran negara-negara yang telah meratifikasi Konvensi Stockholm

Sumber: <http://chm.pop.int>

Gambar 2. Sejarah dan rencana implementasi hasil Konvensi Stockholm oleh pemerintah Indonesia

Selain itu, Indonesia juga sudah membuat rancangan aksi pada September 2006 untuk mencapai sasaran dari hasil konvensi melalui *National Implementation Plan (NIP) on Elimination and Reduction of POPs*. Rancangan aksi tersebut kembali dimutakhirkan tahun 2014 melalui Dokumen Penelaahan dan Pemutakhiran Rencana Penerapan Nasional untuk Konvensi Stockholm tentang Bahan Pencemar Organik yang Persisten (Persistent Organic Pollutant, POPs) di Indonesia (KLHK, 2014). Dalam pemutakhiran dokumen tersebut ada beberapa rencana aksi pengelolaan POPs dan limbah B3 yang secara umum terkait dengan peraturan, roadmap teknis dan perumusan baku mutu POPs dalam rangka melindungi lingkungan hidup dan keselamatan manusia. Selain peraturan perundangan yang sudah disebutkan, peraturan yang mendukung implementasi hasil konvensi adalah Undang-undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, dan Peraturan Pemerintah Nomor 74 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun.

Berdasarkan dokumen pemutakhiran rencana aksi terkait POPs tahun 2014 tersebut, ada keterbatasan informasi mengenai data kuantitas, timbunan dan lahan terkontaminasi POPs di Indonesia (KLHK, 2014). Hasil inventarisasi KLHK tahun 2013 menunjukkan jenis senyawa OCP masih terdaftar di Indonesia pada 1992-2012. Tercatat dalam lahan pertanian sayuran di Pulau Jawa mengandung empat senyawa OCP yang

umum diantaranya lindane, aldrin, heptaklor, dan endosulfan (Wahyuni et al., 2018). Penggunaan OCP dikalangan masyarakat banyak menggunakan nama dagang seperti Thiodan, Indodan 25 EC (Endosulfan *Concentration*) dan Akodan 35 EC yang masih terjual bebas (Mulyadi et al., 2017). Penggunaan lindane yaitu sebagai pembasmian kutu yang dikenal masyarakat dalam sampo Peditox (Purnomo et al., 2019). Untuk PCBs, hasil inventarisasi memperkirakan jumlah total minyak insulasi trafo mengandung PCBs dengan konsentrasi lebih dari 50 ppm adalah 22.878 ton (KLHK, 2014). PT. PLN diperkirakan mempunyai 14.967 ton minyak yang terkontaminasi PCBs, sedangkan industri selain PLN, sekitar 7.911 ton (KLHK, 2014).

Berdasarkan dokumen NIP 2014 (KLHK, 2014), Pemerintah Indonesia sudah membuat berbagai peraturan dan perundangan untuk mengatur peredaran senyawa POPs, kecuali untuk senyawa POPs yang masih baru seperti PFOS, PBDEs dan HBCD. Peraturan ini mencakup: penanganan senyawa POPs yang masih tersimpan di gudang, kondisi POPs di lingkungan, penanganan limbah POPs, dan remediasinya.

Selain penguatan dalam aspek legal, ada kegiatan penelitian yang harus dilakukan yaitu terkait dengan pencarian bahan pengganti senyawa POPs sehingga tidak akan mengganggu proses inovasi dan industri yang sangat tergantung pada senyawa ini. Berikut ini ada beberapa bahan POPs yang sudah ada penggantinya (Tabel 2).

Tabel 2. Bahan pengganti beberapa senyawa POPs

Bahan kimia	Alternatif	
	Nama	Kegunaan
Chlordecone	Ethoprop, oxamyl	Pestisida untuk mengontrol hama pengebor akar pisang
	Cyfluthrin, Imidacloprid	Pestisida untuk mengontrol cacing api pada tembakau
	Azadirachtin, bifenthrin, boric acid, carbaryl, capsaicin, cypermethrin, cyfluthrin, deltamethrin, diazinon, dichlorvos, esfenvalerate, imidacloprid, lamda-cyhalothrin, malathion, permethrin, piperonyl butoxide, pyrethrins, pyriproxyfen, resmethrin, s-bioallethrin, tetramethrin	Pestisida untuk mengontrol semut dan kecoa
Hexabromobiphenyl	Tris-chloropropyl-phosphate (TCPP), tris-chloroethyl-phosphate, and tris dichloropropyl phosphate (TDCPP), triphenyl phosphate (TPP), tricresyl phosphate (TCP), resorcinol bis(diphenylphosphate) (RDP), and phosphonic acid (2-((hydroxymethyl) carbamyl)ethyl)-dimethyl ester (Pyrovatex®)	ABS plastics
	Aluminium trihydroxide and zinc borate	Coatings and lacquers
	Ammonium polyphosphate (APP) is commonly used in combination with Aluminium hydroxide and Melamine	<i>Polyurethane foams</i>
Lindane	Permethrin; Bioallethrin and piperonyl butoxide; Pyrethrin and piperonyl butoxide; Pyrethrum and piperonyl butoxide; Precipitated sulphur 6% in petrolatum and Crotamiton 10% (Eurax); malathion; Flumethrin; Cypermethrin; Carbaryl; Stemona root extract and benzyl benzoate y Disulfiram with bezybenzoate	Pemakaian dalam farmasi (Pharmaceutical uses)
	Clothianidin, Thiamethoxam, Imidacloprid, Permethrin, Tefluthrin, Acetamiprid y Fipronil	Perlakuan pada biji-bijian (Seed treatment)

SARAN DAN REKOMENDASI PENELITIAN POPs DI INDONESIA

Sebagaimana telah disampaikan sebelumnya, bahwa Indonesia wajib melakukan berbagai aksi nyata dalam menangani masalah limbah POPs di wilayahnya. Pertanian organik menjawab

solusi penggunaan pestisida yang mulai dikembangkan mulai tahun 2005 (Yurlisa & Susanti, 2018). Selain itu dukungan pemerintah dalam pengembangan produk organik didukung dengan program ‘Go Organic 2010’ oleh Kementerian Pertanian (Mayrowani, 2019).

Selain itu, ada beberapa topik penelitian terkait POPs yang dapat dilakukan sebagai implementasi rencana aksi dalam dokumen Rencana Penerapan Nasional untuk pengelolaan POPs di Indonesia, yaitu:

1. Pengembangan penelitian terkait distribusi kontaminasi senyawa POPs dan U-POPs di berbagai jenis lingkungan di Indonesia, misalkan mulai dari dataran tinggi sampai laut dalam. Penelitian ini sangat penting mengingat informasi distribusi POPs tersebut dapat digunakan sebagai acuan langkah mitigasi pencegahan penyebaran kontaminasi POPs. Sebagai informasi, sudah ada beberapa penelitian terkait dengan distribusi POPs di Indonesia sebagai dasar untuk program pengembangan lanjut (Ilyas et al., 2011; Prajanti et al., 2016; Sudaryanto et al., 2008; Sudaryanto et al., 2007).
2. Penelitian terkait dengan penentuan baku mutu senyawa POPs di berbagai jenis lingkungan di Indonesia, baik didaratan ataupun di laut. Berdasarkan pencarian literatur sangat sulit untuk menemukan penelitian mengenai baku mutu POPs, namun terdapat penelitian mengenai kualitas lingkungan (Barokah et al., 2017). Keberadaan baku mutu senyawa POPs sangat penting terutama karena penggunaan POPs yang hingga kini masih digunakan (Purnomo et al., 2019).
3. Penelitian tentang bioassay untuk melihat efek dari paparan senyawa POPs terhadap biota uji. Dampak POPs terhadap beberapa ikan dapat dilihat dari segi ekotoksikologi karena mempelajari mengenai dampak dan interaksinya di lingkungan dan kehidupan (Hertika & Putra, 2019).
4. Monitoring distribusi dan konsentrasi senyawa POPs di lingkungan, biota, dan manusia. Penelitian POPs pada biota sudah dilakukan seperti pada ikan (Sudaryanto et al., 2007), kerang (Suryono et al., 2019), dan manusia (Sudaryanto et al., 2008). Perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk mengetahui status kontaminasi dan toksikokinetis untuk mengetahui dampak kesehatan (Sudaryanto et al., 2007).
5. Monitoring penggunaan senyawa POPs di industri dan pertanian. Penelitian penggunaan senyawa POPs dalam sektor ini penting selain untuk mengetahui tingkat kontaminasinya, sehingga upaya remediasi POPs terkendali (Riyanto, 2020).
6. Penelitian lanjut terkait senyawa POPs terbaru seperti PFOS di lingkungan Indonesia. Penelitian mengenai senyawa baru sangat minim, mengingat senyawa tersebut belum tentu masuk, digunakan, atau diregulasikan oleh KLHK (KLHK, 2014)
7. Penelitian keterkaitan antara paparan senyawa POPs terhadap kesehatan masyarakat, lingkungan dan sosio ekonomi. Edukasi masyarakat mengenai penggunaan dan efek kesehatan penting untuk dilakukan karena masih minim masyarakat yang mengetahui efek POPs (Ilmiawati & Reza, 2019; Nurrohmah et al., 2018).
8. Penelitian terkait bahan pengganti senyawa POPs yang lebih ramah lingkungan. Penelitian mengenai upaya penggunaan pestisida bahan alami sudah dilakukan dan perlu didukung karena terbukti efektif dan meningkatkan produktifitas (Harahap et al., 2018).

PENUTUP

Informasi mengenai jenis, karakteristik dan aspek toksisitas senyawa POPs dibutuhkan dalam pengelolaan lingkungan secara berkelanjutan. Indonesia sebagai negara yang meratifikasi senyawa POPs sudah turut serta berperan aktif dalam mengurangi hingga tidak menggunakan senyawa tersebut. Selanjutnya, penelitian perlu terus dilakukan terkait dengan POPs ini, baik penelitian dasar ataupun penelitian terapan dalam rangka mitigasi bencana pencemaran POPs di kemudian hari. Selain itu, aspek edukasi public terkait bahaya POPs ini perlu terus di gencarkan untuk menekan dampak kesehatan yang timbul.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbasi, G., Li, L., & Breivik, K. (2019). Global historical stocks and emissions of PBDEs. *Environmental Science & Technology*, 53(11): 6330–6340.
- Allen, E. M. G., Florang, V. R., Davenport, L. L., Jinsmaa, Y., & Doorn, J. A. (2013). Cellular localization of dieldrin and structure–activity relationship of dieldrin analogues in dopaminergic cells. *Chemical Research in Toxicology*, 26(7): 1043–1054.
- ATSDR. (2005). Toxicological profile.
- Ávila, C., & García, J. (2015). *Persistent Organic Pollutants (POPs): Analytical Techniques, Environmental Fate and Biological Effects. Comprehensive Analytical Chemistry* (Vol. 67). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63299-9.00006-5>
- Barokah, G. R., Ariyani, F., & Siregar, T. H. (2017). Comparison of STORET and pollution index method to assess the environmental pollution status: a case study from Lampung Bay, Indonesia.
- Bartrons, M., Catalan, J., & Penuelas, J. (2016). Spatial and temporal trends of organic pollutants in vegetation from remote and rural areas. *Scientific Reports*, 6(1): 1–10.
- Bronson, D., Shand, H., & Thomas, J. (2011). *Earth grab: Geopiracy, the new biomassters and capturing climate genes*. Fahamu/Pambazuka.
- Chen, D., La Guardia, M. J., Luellen, D. R., Harvey, E., Mainor, T. M., & Hale, R. C. (2011). Do temporal and geographical patterns of HBCD and PBDE flame retardants in US fish reflect evolving industrial usage? *Environmental Science & Technology*, 45(19): 8254–8261.
- Chin-Chan, M., Navarro-Yepes, J., & Quintanilla-Vega, B. (2015). Environmental pollutants as risk factors for neurodegenerative disorders: Alzheimer and Parkinson diseases. *Frontiers in Cellular Neuroscience*, 9: 124.
- Coakley, J., Bridgen, P., Bates, M. N., & Douwes, J. (2018). Chlorinated persistent organic pollutants in serum of New Zealand adults, 2011–2013. *Science of the Total Environment*, 615: 624–631.
- Elyazar, I. R. F., Hay, S. I., & Baird, J. K. (2011). Malaria distribution, prevalence, drug resistance and control in Indonesia. *Advances in Parasitology*, 74: 41–175. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385897-9.00002-1>
- Falahudin, D. (2012). Distribution and source of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coastal waters of the Timor Sea. *Coastal Marine Science*, 35(1)(March): 112–121. <https://doi.org/2261/51694>
- Fiedler, H., Kallenborn, R., Boer, J. de, & Sydnes, L. K. (2019). The Stockholm Convention: A Tool for the Global Regulation of Persistent Organic Pollutants. *Chemistry International*, 2(41): 4–11. <https://doi.org/10.1515/ci-2019-0202>
- Grova, N., Schroeder, H., Olivier, J.-L., &

- Turner, J. D. (2019). Epigenetic and neurological impairments associated with early life exposure to persistent organic pollutants. *International Journal of Genomics*, 2019.
- Han, D., & Currell, M. J. (2016). Persistent organic pollutants in China's surface water systems. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.007>
- Harahap, F. S., Atifah, Y., Hasibuan, I. S., & Abubakar, A. (2018). Penyuluhan Penggunaan Pestisida Alami Bagi Kelompok Tani Di Desa Hutnamale Kec. Puncak Sorik Marapi Mandailing Natal. *Martabe: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(3): 142–148.
- Hertika, A. M. S., & Putra, R. B. D. S. (2019). *Ekotoksikologi untuk Lingkungan Perairan*. Universitas Brawijaya Press.
- Ilmiawati, C., & Reza, M. (2019). Survei dan Edukasi Penggunaan Pestisida Di Rumah Tangga dan Dampaknya Terhadap Kesehatan Pada Masyarakat Di Nagari Panasahan Kota Painan. *Buletin Ilmiah Nagari Membangun*, 2(3): 333–345.
- Ilyas, M., Sudaryanto, A., Setiawan, I. E., Riyadi, A. S., Isobe, T., Ogawa, S., ... Tanabe, S. (2011). Characterization of polychlorinated biphenyls and brominated flame retardants in surface soils from Surabaya, Indonesia. *Chemosphere*, 83(6): 783–791.
- Johanson, S. M., Swann, J. R., Umu, Ö. C. O., Aleksandersen, M., Müller, M. H. B., Berntsen, H. F., ... Ropstad, E. (2020). Maternal exposure to a human relevant mixture of persistent organic pollutants reduces colorectal carcinogenesis in A/J Min/+ mice. *Chemosphere*, 126484.
- KLHK. (2014). *Penelaahan dan Pemutakhiran Rencana Penerapan Nasional untuk Konvensi Stockholm tentang Bahan Pencemar Organik yang Persisten (Persistent Organic Pollutant , POPs) di Indonesia REPUBLIK INDONESIA OKTOBER 2014*.
- Koyano, S., Ueno, D., Yamamoto, T., & Kajiwarra, N. (2019). Concentrations of POPs based wood preservatives in waste timber from demolished buildings and its recycled products in Japan. *Waste Management*, 85: 445–451.
- Liu, X., Fiedler, H., Gong, W., Wang, B., & Yu, G. (2018). Potential sources of unintentionally produced PCB, HCB, and PeCBz in China: A preliminary overview. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 12(6): 1.
- Longpré, D., Lorusso, L., Levicki, C., Carrier, R., & Cureton, P. (2020). PFOS, PFOA, LC-PFCAS, and certain other PFAS: A focus on canadian guidelines and guidance for contaminated sites management. *Environmental Technology & Innovation*, 100752.
- Martin, T. J., Maise, J., Gabure, S., & Whalen, M. M. (2019). Exposures to the environmental contaminants pentachlorophenol and dichlorodiphenyltrichloroethane increase production of the proinflammatory cytokine, interleukin-1 β , in human immune cells. *Journal of Applied Toxicology*, 39(8): 1132–1142.
- Matthies, M., Solomon, K., Vighi, M., Gilman, A., & Tarazona, J. V. (2016). The origin and evolution of assessment criteria for persistent, bioaccumulative and toxic (PBT) chemicals and persistent organic pollutants (POPs). *Environmental Science: Processes and Impacts*, 18(9): 1114–1128. <https://doi.org/10.1039/c6em00311g>
- Mayrowani, H. (2019). Pengembangan pertanian organik di Indonesia.
- Morris, D. (2006). The Once and Future Carbohydrate Economy. Retrieved from <https://prospect.org/special->

- report/future-carbohydrate-economy/
Mulyadi, M., Indratin, I., & Harsanti, E. S. (2017). Senyawa POPs Aldrin dan Endosulfan pada Air Sungai DAS Citarum Hulu, Jawa Bara. Prosiding SNPBS (Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Saintek) Ke-2.
- Newhouse, K., Berner, T., Mukerjee, D., & Rooney, A. (2009). IRIS Toxicological Review of Chlordecone (Kepone). U.S. Environmental Protection Agency, (143).
- Nurrohmah, A. A., Nurjazuli, N., & Joko, T. (2018). Hubungan Riwayat Paparan Pestisida Ibu Saat Hamil Dengan Kejadian Stunting Anak Usia 2-5 Tahun (Studi Kasus di Wilayah Kerja Puskesmas Sawangan 1, Kabupaten Magelang). *Jurnal Kesehatan Masyarakat (e-Journal)*, 6(6): 24–31.
- O'Sullivan, G., & Sandau, C. (2013). *Environmental Forensics for Persistent Organic Pollutants. Environmental Forensics for Persistent Organic Pollutants*. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-04340-5>
- Perelló, G., Martí-Cid, R., Castell, V., Llobet, J. M., & Domingo, J. L. (2010). Influence of various cooking processes on the concentrations of PCDD/PCDFs, PCBs and PCDEs in foods. *Food Control*, 21(2), 178–185.
- Pivnenko, K., Granby, K., Eriksson, E., & Astrup, T. F. (2017). Recycling of plastic waste: screening for brominated flame retardants (BFRs). *Waste Management*, 69: 101–109.
- Poliakoff, M., & Licence, P. (2007). Green chemistry. *Nature*, 450(7171): 810–812.
- Prajanti, A., Farhani, N., & Syofyan, Y. (2016). Monitoring of POPs in the hydrosphere of Indonesia.
- Purnomo, A. S., Alkas, T. R., & Ersam, T. (2019). *Biodegradasi Pestisida Organoklorin Oleh Jamur*. Deepublish.
- Riyanto, S. (2020). Teknologi Remediasi Residu Endosulfan di Lahan Bawang Merah.
- Song, C., Charli, A., Luo, J., Riaz, Z., Jin, H., Anantharam, V., ... Kanthasamy, A. G. (2019). Mechanistic interplay between autophagy and apoptotic signaling in endosulfan-induced dopaminergic neurotoxicity: relevance to the adverse outcome pathway in pesticide neurotoxicity. *Toxicological Sciences*, 169(2): 333–352.
- Sudaryanto, A., Kajiwaru, N., Takahashi, S., & Tanabe, S. (2008). Geographical distribution and accumulation features of PBDEs in human breast milk from Indonesia. *Environmental Pollution*, 151(1), 130–138.
- Sudaryanto, A., Monirith, I., Kajiwaru, N., Takahashi, S., Hartono, P., Muawanah, ... Tanabe, S. (2007). Levels and distribution of organochlorines in fish from Indonesia. *Environment International*, 33(6): 750–758. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2007.02.009>
- Suryono, C. A., Sabdonu, A., Setyati, W. A., Rochaddi, B., Susilo, E. S., & Mahendrajaya, R. T. (2019). The presence of organochlorine pesticide in Semarang indonesia marine waters and their contamination on green mussel *Perna viridis* (bivalvia: Mytilidae, linnaeus, 1758). In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 246: 12069.
- Thompson, L. A., Ikenaka, Y., Darwish, W. S., Nakayama, S. M. M., Mizukawa, H., & Ishizuka, M. (2019). Effects of the organochlorine p, p'-DDT on MCF-7 cells: investigating metabolic and immune modulatory transcriptomic changes. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 72: 103249.
- UNEP. (2002). South East Asia and Regionally Based Assessment of

- Persistent, (December), 145.
- van der Gon, H. D., van het Bolscher, M., Visschedijk, A., & Zandveld, P. (2007). Emissions of persistent organic pollutants and eight candidate POPs from UNECE–Europe in 2000, 2010 and 2020 and the emission reduction resulting from the implementation of the UNECE POP protocol. *Atmospheric Environment*, 41(40): 9245–9261.
- van Mourik, L. M., Gaus, C., Leonards, P. E. G., & de Boer, J. (2016). Chlorinated paraffins in the environment: A review on their production, fate, levels and trends between 2010 and 2015. *Chemosphere*, 155: 415–428.
- Wahyuni, S., Sulaeman, E., & Ardiwinata, A. N. (2018). Pelapisan Urea dengan Arang Aktif yang Diperkaya Mikroba Dapat Mempercepat Penurunan Konsentrasi Residu Insektisida Heptaklor di Lahan Sawah. *Informatika Pertanian*, 25(2), 155–162.
- Walker, C. H., Sibly, R. M., Hopkin, S. P., & Peakall, D. B. (2012). Principles of Ecotoxicology. In *Principles of Ecotoxicology* (Fourth, pp. 1–381). Taylor & Francis Group, LLC.
- WHO. (2000). Polychlorinated dibenzodioxins and dibenzofurans. In Air quality guidelines, second edition, Chapter 5.11. Retrieved from http://www.euro.who.int/document/aq/5_11pcddpcdf.pdf
- Wrobel, M. H., & Mlynarczuk, J. (2017). Secretory function of ovarian cells and myometrial contractions in cow are affected by chlorinated insecticides (chlordan, heptachlor, mirex) in vitro. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 314: 63–71.
- Yurlisa, K., & Susanti, M. M. (2018). *Sertifikasi Produk Pertanian Organik: Teori dan Praktiknya*. Universitas Brawijaya Press.