

Riset

Potensi degradasi lingkungan dampak eksistensi karbofuran di Indonesia

Harry Alfiansyah^{1*}, Nurmansyah Ardikoesoema¹ dan Juan Samuel¹

^{1,2,3} Universitas Indonesia

* Korespondensi: harry.alfiansyah@ui.ac.id

Tanggal Diterima: 31 Juli, 2023

Tanggal Revisi: 31 Juli, 2023

Tanggal Terbit: 31 Juli, 2023

Cite This Article:

Alfiansyah, H., Ardikoesoema, N. and Samuel, J. (2023). Potensi degradasi lingkungan dampak eksistensi karbofuran di Indonesia. *Jurnal Bisnis Kehutanan dan Lingkungan*, 1(1). 66-87.

<https://doi.org/10.61511/jbkl.v1i1.2023.258>



Hak Cipta: © 2023 oleh penulis. Akses terbuka untuk mengajukan publikasi di bawah syarat dan ketentuan oleh *Creative Commons Attribution* (CC BY) lisensi (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract

Carbofuran is one of the active compound elements as the basic ingredient for making the world's most toxic broad-spectrum and systemic carbamate pesticides, which are commonly used as insecticides, nematocides, and acaricides for agricultural, household, and industrial purposes. Based on the report of the eighth meeting of the Rotterdam Conference in 2017, it was agreed that the use of the active compound carbofuran is prohibited because of its very dangerous impact on human health and the environment. Apart from being harmful to human health and the environment, it is also very deadly to mammals, birds, fish, and wildlife due to its anticholinesterase activity, which inhibits the activity of acetylcholinesterase and butyrylcholinesterase. In humans, carbofuran is associated with endocrine disorders, reproductive disorders, and cytotoxic and genotoxic disorders. Therefore, the environment contaminated with carbofuran is a major concern and requires serious treatment that is adequate, sophisticated, and effective to be able to mitigate the degradation that occurs. This paper briefly discusses the toxicity of carbofuran and its toxicological impact on the environment esp, especially the role of the government in regulating the distribution of pesticides and mitigating the threat of impacts from pesticide use. This writing method uses a literature review technique, which the author then describes to conclude. Activities to control pesticide pollution and its negative effects on the environment and non-target organisms are carried out by (1) Issuing standardized legal regulations to prohibit the use and distribution of high-risk pesticides. So, with regulations, the negative effects of pesticides can be reduced. However, it is necessary to pay attention to the social impacts that might occur if the government imposes a ban on the use of chemical pesticides due to the high dependence of Indonesian farmers on the use of chemical pesticides derived from carbamates, such as carbofuran. (2) Implement stricter regulations regarding the use of dangerous chemical pesticides. (3) Encourage industry to develop and produce environmentally friendly pesticides to realize sustainable agriculture. One environmentally friendly pesticide is the Biopesticide method. (4) Applying new scientific methodologies and technologies and useful measures, such as integrated pest management (IPM). Furthermore, further research is needed focusing on environmental exposure and assessment of health risks related to carbofuran pesticides to better understand the use and management of pesticides in the future and also research related to innovations in integrated pest management (IPM).

Keywords: environment; carbofuran; public

Abstrak

Karbofuran adalah salah satu unsur senyawa zat aktif sebagai bahan dasar pembuat pestisida karbamat spektrum luas dan sistemik yang paling beracun di dunia yang umum digunakan sebagai insektisida, nematisida, dan akarisida untuk keperluan pertanian, rumah tangga, dan industri. Berdasarkan laporan pertemuan ke-8 konferensi Rotterdam pada tahun 2017, telah disepakati bahwa senyawa zat aktif karbofuran dilarang

penggunaannya karena dampak yang sangat membahayakan bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Selain berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan, juga sangat mematikan bagi mamalia, burung, ikan, dan satwa liar karena aktivitas antikolinesterase-nya, yang menghambat aktivitas asetil kolinesterase dan butiril kolinesterase. Pada manusia, karbofuran dikaitkan dengan gangguan endokrin, gangguan reproduksi, kelainan sitotoksik dan genotoksik. Oleh karena itu, lingkungan yang tercemar karbofuran menjadi perhatian utama dan perlunya penanganan serius yang memadai, canggih, dan efektif untuk dapat memitigasi degradasi yang terjadi. Makalah ini bertujuan untuk membahas secara singkat toksisitas karbofuran dan dampak toksikologinya terhadap lingkungan dan khususnya peran serta dari pemerintah dalam mengatur peredaran pestisida dan memitigasi ancaman dampak dari penggunaan pestisida. Metode dalam penulisan ini menggunakan teknik literature review yang kemudian penulis deskripsikan untuk mencapai suatu kesimpulan. Kegiatan pengendalian pencemaran pestisida dan pengaruh negatifnya terhadap lingkungan dan organisme yang bukan sasarannya dilaksanakan dengan (1) Menerbitkan regulasi perundang-undangan yang dibakukan dalam rangka melarang penggunaan dan peredaran pestisida dengan risiko tinggi. Sehingga dengan adanya peraturan, efek negatif pestisida dapat dikurangi, namun perlu diperhatikan terkait dampak sosial yang mungkin terjadi apabila pemerintah memberlakukan pelarangan penggunaan pestisida kimia karena sifat ketergantungan para petani Indonesia yang tinggi terhadap penggunaan pestisida kimia turunan karbamat tersebut, seperti karbofuran. (2) Mengimplementasikan regulasi yang lebih ketat mengatur terkait dengan penggunaan obat-obatan pestisida kimia yang berbahaya. (3) Mendorong industri untuk mengembangkan dan memproduksi pestisida ramah lingkungan untuk mewujudkan pertanian berkelanjutan. Salah satu pestisida ramah lingkungan yaitu dengan metode Biopestisida. (4) Menerapkan metodologi dan teknologi ilmiah baru dan langkah-langkah yang bermanfaat, seperti pengelolaan hama terpadu (PHT). Selanjutnya diperlukan penelitian lebih lanjut berfokus pada paparan lingkungan dan penilaian risiko kesehatan terkait pestisida karbofuran untuk dapat lebih memahami penggunaan dan pengelolaan pestisida di masa mendatang dan juga penelitian terkait inovasi pada pengelolaan hama terpadu (PHT).

Katakunci: lingkungan; karbofuran; masyarakat

1. Pendahuluan

Pestisida adalah suatu inovasi dalam industri pertanian yang dirancang untuk melindungi tanaman dari serangga, hama, dan gulma. Bahan zat kimia yang diproduksi ini secara substansial dapat memberikan manfaat pada industri pertanian secara global dan ketahanan pangan dalam berbagai cara, tetapi juga secara nyata memberikan potensi bahaya bagi kelestarian lingkungan terdampak industri pertanian dan kesehatan masyarakat secara umum. Praktik penggunaan pestisida kimia oleh para petani di seluruh dunia yang berlebihan sudah terjadi sejak lama dan membuat bahayanya semakin parah untuk lingkungan. Diperkirakan produksi bahan pestisida kimia terus meningkat tiap tahunnya di tingkat global dengan kampanye kontradiktif yaitu dalam rangka ketahanan pangan global. Hal ini menunjukkan fenomena yang luar biasa bahwa ketergantungan pestisida menimbulkan tantangan jangka panjang terhadap pengelolaan lingkungan dan kesehatan masyarakat global. Menurut World Health Organization atau WHO, sampai pada tahun 2017 terdapat 18,2 gangguan pada setiap 100.000 orang dari seluruh dunia karena

gangguan kesehatan sebagai dampak dari penggunaan pestisida. Kejadian keracunan pestisida di Indonesia, terdapat 771 kasus pada tahun 2016 dan 124 kasus pada tahun 2017 (Fizulmi, 2022). WHO juga memperkirakan bahwa setiap tahun terjadi 1 sampai 5 juta kasus keracunan karena pestisida pada pekerja di sektor pertanian yang sebagian besar terjadi di negara berkembang, salah satu contoh negara berkembang tersebut adalah Indonesia.

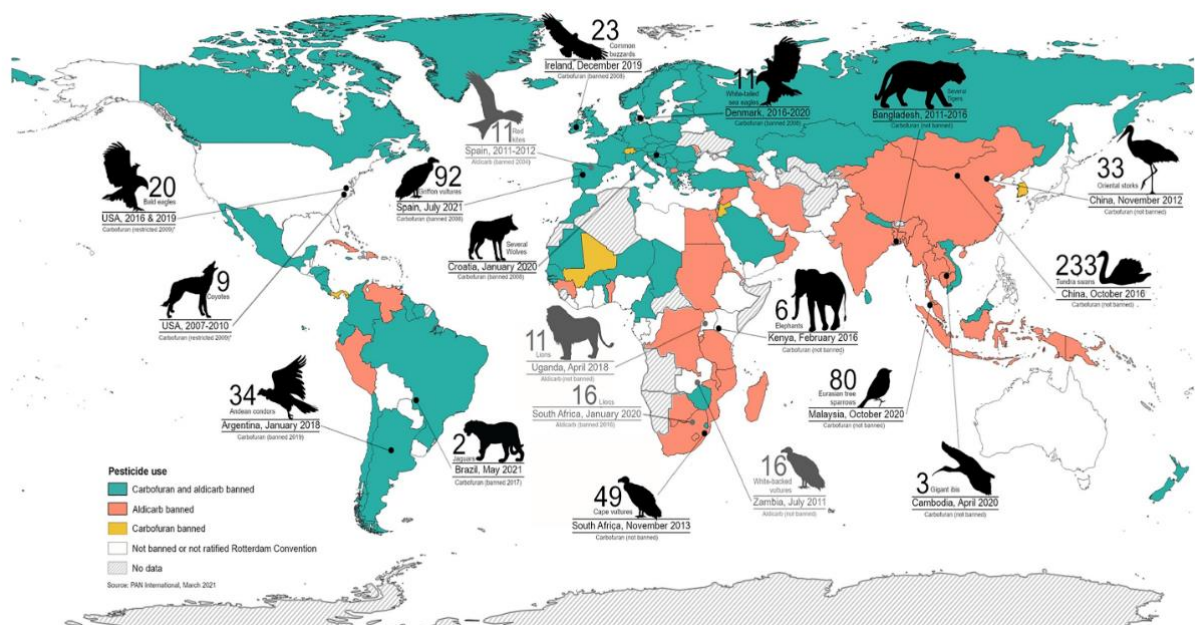
Dalam hal lingkungan, telah banyak peneliti mengungkap bahwa penggunaan pestisida kimia akan berdampak pada lingkungan. Bahwa penggunaan pestisida kimia tidak efisien karena dari sejumlah pestisida kimia yang diaplikasikan, hanya satu persen yang tertuju pada sasaran (Pimentel, 1993). Sisanya akan terbuang ke lingkungan dalam bentuk limbah yang sangat berbahaya karena berdampak langsung terhadap manusia dan lingkungan (Wilkinson, 1988). Tingkat bahayanya tergantung pada sifat racun, jumlah limbah, dan lamanya kontaminasi (WHO, 1997). Tingginya pencemaran lingkungan dan membunuh atau bahkan memusnahkan berbagai jenis makhluk hidup yang disebabkan oleh berbagai jenis pestisida kimia (Carson, 1990).

Apabila ditinjau melalui aspek kesehatan masyarakat, pestisida memberikan ancaman yang terus menerus sehingga berdampak serius bagi kesehatan manusia. Adapun bentuk gangguan kesehatan oleh pestisida kepada manusia dapat melalui berbagai mekanisme, antara lain berasal dari paparan pada kulit, paparan pada pernapasan, paparan pada mulut, paparan pada mata, dan kontaminasi pada makanan dan air yang dikonsumsi sehingga secara lebih lanjut akan menimbulkan berbagai ancaman penyakit dan gangguan pada manusia, termasuk ancaman kanker, gangguan pernapasan akut, diabetes melitus, penyakit parkinson, penyakit leukemia, gangguan mental, penyakit saraf dan lain sebagainya.

Dalam hal ekonomi, meskipun pestisida dianggap sebagai inovasi yang dapat menopang perekonomian dan ketahanan pangan, namun banyak peneliti menyimpulkan hal yang kontradiktif. Contohnya di Amerika Serikat, kerugian biaya akibat dampak pestisida bagi kesehatan dan lingkungan diperkirakan mencapai 9,6 miliar dolar Amerika Serikat. Biaya tambahan mencakup proses registrasi dan pembelian pestisida. Proses akumulasi zat atau produk pestisida baru membutuhkan waktu beberapa tahun hingga selesai karena membutuhkan lebih dari 70 jenis uji lapang dan memakan biaya sebesar 50–70 juta dolar Amerika Serikat untuk satu pestisida (Pimentel, 1993). Biaya eksternal penggunaan pestisida kimia di Nigeria ketika sedang mengendalikan belalang menyebabkan biaya eksternal senilai 253.800.956 FCFA (1 dolar Amerika Serikat=610 FCFA) (Houndekon & Groote, 1998). Sebagai contoh yang terjadi di Thailand, kerugian langsung biaya eksternal mencapai 1.104,3 juta Baht pada tahun 1992 yang disebabkan buah-buahan dan sayuran tidak dapat dipasarkan karena melebihi batas minimum residu pestisida kimia (Jungbluth, 1999). Selanjutnya di Filipina, setiap petani menanggung biaya kesehatan sebesar 1.343

Peso (Rola & Pingali, 1993). Jerman harus mengeluarkan biaya 128-186 juta *Deutsche Mark* per tahun untuk membersihkan kontaminasi sumber air minum oleh residu pestisida kimia (Fleischer, 1999).

Intensifikasi pertanian yang terjadi di Indonesia adalah salah satu kebijakan utama pemerintah dalam rangka memenuhi kebutuhan pangan dalam negeri dan hal ini sejalan dengan laju pertumbuhan penduduk yang semakin meningkat tiap tahunnya. Sehingga pola penggunaan pestisida kimia hingga saat ini masih menjadi suatu tantangan yang terjadi di Indonesia. Salah satu jenis pestisida kimia yang umum digunakan di Indonesia sejak tahun 1950 adalah pestisida kimia yang berbahan dasar zat aktif karbofuran.



Gambar 1.1 Kejadian keracunan satwa liar dengan pestisida karbofuran.

(Sumber: López-Bao & Mateo-Tomás (2022))

Karbofuran adalah pestisida karbamat yang banyak digunakan dalam bidang pertanian. Karbamat ialah insektisida yang bersifat sistemik dan berspektrum luas sebagai nematocida dan akarisisida. Di Thailand, karbofuran digunakan untuk mengendalikan serangga dan nematoda saat kontak atau setelah tertelan di sawah. Karbofuran memiliki kelarutan air yang tinggi yaitu 351 mg/L dan sangat mudah bergerak di dalam tanah (Tariqa *et al.*, 2006), oleh karena itu, potensi pencemaran air tanah yang tinggi selanjutnya menjadi perhatian lingkungan yang besar. Penggunaan karbofuran secara terus menerus pada area pertanian dapat menimbulkan resiko pencemaran terhadap air permukaan dan tanah (Thapinta & Hudak, 2000). Karbofuran memiliki efek kronis pada organisme akuatik melalui penghambatan kolinesterase, neurotoksisitas dan efek reproduksi (Plese *et al.*, 2005). Serapan akut karbofuran melalui paparan yang tidak disengaja dapat menyebabkan

toksistas akut dan kematian pada organisme dan manusia (Satar *et al.*, 2005). Oleh karena itu, sangat penting untuk menghilangkan senyawa karbofuran dari lingkungan yang terlanjur terkontaminasi.

Pertemuan ke-8 Konvensi Rotterdam pada tahun 2017 mengategorikan karbofuran sebagai jenis pestisida yang disarankan untuk dilarang penggunaannya karena berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan (UNEP & FAO, 2017). Saat ini penggunaan karbofuran telah dilarang di Kanada, Uni Eropa dan banyak negara di Asia termasuk Tiongkok. Namun, Indonesia sebagai salah satu negara agraris terbesar di dunia masih menggunakan pestisida berbasis karbofuran dan bahan berbahaya lainnya dalam aktivitas pertaniannya.

Adapun senyawa ini dikenal bersifat toksik pada mamalia dan pada level tertentu akan menjadi lebih toksik pada jenis unggas yang sebenarnya bukan target utama dari tujuan penggunaan insektisida jenis ini. Pada unggas, karbofuran menjadi sangat toksik karena terjadi proses biomagnifikasi akibat memakan serangga yang mati akibat karbofuran itu sendiri sehingga terjadi kematian unggas secara mendadak. Pada level tertentu, diketahui bahwa kandungan aktif karbofuran dalam furadan dapat menimbulkan residu dalam telur ayam sebesar 8,2%. Pengaplikasian karbofuran melalui penyemprotan menjadi potensi intoksikasi pada hewan liar, hewan ternak, dan pada akhirnya berdampak bagi manusia. Secara teoritis, insektisida lebih mudah terserap melalui saluran pencernaan dan inhalasi, namun jarang terjadi melalui absorpsi kulit (Indraningsih, 2008). Meski demikian, menurut Djojosumarto dalam Pamungkas (2016), kontaminasi pestisida melalui kulit ditemukan lebih dari 90% melalui jalur paparan kulit. Beberapa faktor yang mempengaruhi hal tersebut di antaranya adalah ketika proses penyemprotan, pencampuran pestisida, dan proses pencucian peralatannya yang tidak jarang para pekerja yang menggunakan pestisida tidak menggunakan pelindung kulit sehingga mengakibatkan paparan atau kontaminasi yang terus menerus.

2. Metode

Makalah ini menggunakan metode studi literatur (*literature review*) terkait pengaruh penggunaan pestisida kimia berbahaya yaitu karbofuran yang berpengaruh bagi manusia, hewan dan lingkungan. Adapun studi literatur (*literature review*) adalah serangkaian kegiatan yang berkenaan dengan metode pengumpulan data pustaka, membaca dan mencatat, serta mengelola bahan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh peneliti yang berkaitan dengan masalah dan tujuan penelitian. Teknik ini bertujuan untuk mengungkapkan berbagai teori yang relevan dengan permasalahan yang sedang dihadapi atau diteliti sebagai bahan rujukan dalam pembahasan hasil penelitian.

3. Hasil dan Pembahasan

Efek toksikologi karbofuran pada manusia dan hewan.

Tanah memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap kesehatan manusia karena berfungsi sebagai tempat dan sumber utama dalam produksi makanan. Tanah tercemar pestisida adalah salah satu bentuk degradasi lingkungan, karena kualitas dan daya dukung tanah

sebagai sumber nutrisi bagi tumbuhan (terutama tanaman pangan) akan berkurang dan dalam waktu tertentu tidak bisa digunakan. Apabila tanah tercemar, maka akan timbul berbagai dampak bagi manusia diantaranya adalah kanker, leukemia, gangguan reproduksi, kerusakan ginjal, hati, dan kegagalan sistem saraf pusat. Dampak tersebut bersifat tidak langsung namun sifatnya akumulatif, maka pada jangka waktu tertentu akan menimbulkan efek yang kronis atau sampai pada tahap akut. Asupan makanan yang ditanam pada tanah terkontaminasi, adalah salah satu jalur masuknya pencemar tanah seperti jenis pestisida (Mishra *et al*, 2016; Petruzzelli *et al*, 2010). Pada tingkatan yang ekstrim, pestisida dari kelompok organofosfat dan karbamat termasuk di dalamnya adalah karbofuran, akan menghambat kinerja enzim *cholinesterase* dengan bentuk gejala keracunan, baru akan terlihat ketika aktivitas kolinesterase pada darah menurun hingga 30%. Menurut Pamungkas (2016), gejala keracunan pada kasus pada pekerja yang berkaitan dengan pestisida (misalnya petani) adalah pada awal mulanya dengan keadaan sehat, namun secara tiba tiba merasakan gejala ringan seperti pusing, sesak nafas, diare, muntah, sampai pada gejala berat seperti pingsan dan koma. Gejala berat ini dapat dipastikan terjadi akibat penurunan enzim kolinesterase yang mencapai 50%. Adapun diagnosis dalam keracunan pestisida ini harus diperkuat melalui proses medis baku melalui uji laboratorium sehingga kesimpulan menjadi lebih kuat dan akurat. Paparan pestisida yang terjadi selama bertahun-tahun akan menyebabkan masalah pada ingatan, sulit berkonsentrasi, bahkan sampai kelumpuhan dan koma. Organ tubuh yang pertama kali berperan sebagai penetralisir senyawa beracun pada pestisida adalah hati, namun pada kondisi tertentu sifat racun dari senyawaan pestisida akan terakumulasi dan menghambat kinerja dari organ hati itu sendiri sehingga penyakit yang berhubungan dengan kesehatan organ hati juga dapat terjadi akibat paparan pestisida ini seperti hepatitis, sirosis, dan kanker (Jenni *et al*, 2014). Penelitian lain menempatkan karbofuran dalam urutan tiga pestisida teratas berdasarkan tingkat risiko terhadap lingkungan dan kesehatan (Utami *et al.*, 2020).

Tingkat keracunan individu atau manusia akibat residu pestisida kimia pada manusia dapat ditinjau melalui kadar kolinesterase dalam darah karena sifatnya sebagai *biomarker* dari kuantitas residu pestisida kimia yang secara sengaja atau tidak sengaja terpapar akibat kegiatan sehari hari melalui aktivitas pertanian atau perkebunan atau secara singkat kadar kolinesterase dalam darah dapat dijadikan sebagai indikator tingkat keracunan residu pestisida kimia. Hal ini ditinjau melalui penelitian oleh Purba (2009) yang menunjukkan terdapat hubungan yang bermakna antara tingkat risiko paparan, durasi kerja dengan kadar kolinesterase pada perempuan usia subur di Kabupaten Brebes. Penelitian selanjutnya juga dilakukan di Kabupaten Brebes oleh Mahmudah *et al.*, (2012) kepada istri petani bawang merah dan didapatkan sebanyak 29 dari 37 individu mengalami keracunan dengan tingkat ringan hingga sedang akibat residu pestisida kimia yang ditinjau melalui kadar kolinesterase dalam darah mereka. Tingginya kadar kolinesterase dalam darah juga memiliki korelasi yang positif dengan durasi atau partisipasi kerja para istri petani

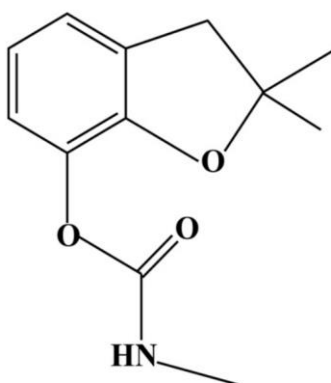
tersebut yang berhubungan dengan pestisida, sehingga telah terjadi bioakumulasi residu pestisida pada tubuhnya. Kejadian tersebut selaras dengan data dari Dinas Kesehatan Kabupaten Brebes yang melakukan pemeriksaan sampel kolinesterase pada 457 orang, didapatkan sebanyak 4,08% mengalami keracunan berat sedangkan 19,25 % mengalami keracunan pada tingkat sedang. Hal ini didukung dengan hasil wawancara yang menunjukkan bahwa intensitas penggunaan pestisida di daerah tersebut cukup tinggi karena sektor pertanian adalah aktivitas mayoritas warga.

Karbofuran dilaporkan juga memiliki toksisitas pada mamalia yang relatif tinggi. Hal ini ditunjukkan melalui LD₅₀ oral 8-11 mg/kg pada tikus dan sangat mematikan bagi invertebrata, burung dan kehutanan (Hodgson & Levi, 1996). Karbofuran juga dapat mengurangi kelimpahan populasi Artropoda tanah (Setiawati *et al*, 2015). Badan Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat (US EPA) mengklasifikasikan karbofuran sebagai “Kategori Toksisitas I”, yaitu kategori paling beracun berdasarkan efek berbahaya melalui paparan oral dan inhalasi. Formulasi butiran karbofuran bersifat toksik bagi burung (Mineau *et al*, 2011) dan terakumulasi pada burung melalui rantai makanan, paparan sekunder, paparan langsung atau tidak sengaja dan umpan yang dicampur (Vyas *et al*, 2005). Karbofuran dapat menyebabkan toksisitas akut dan kematian pada manusia melalui paparan yang tidak disengaja sedangkan paparan terus menerus mengakibatkan toksisitas kronis (HSDB, 2011). Tingkat paparan karbofuran yang lebih tinggi pada manusia terutama menyebabkan kelemahan otot, pusing, berkeringat dan ketidaknyamanan tubuh diikuti dengan sakit kepala, air liur, mual, muntah, sakit perut dan diare. Kontraksi pupil dengan penglihatan kabur, inkoordinasi, dan kedutan otot dan bicara cadel juga telah dilaporkan setelah paparan karbofuran jangka pendek (Kamel *et al*, 2000). Pemberian karbofuran oral menyebabkan cedera saraf dengan menghasilkan radikal bebas oksidatif yang mengganggu integritas membran sel menyebabkan peroksidasi lipid dan menghambat aktivitas enzim dalam sel darah merah (Rai *et al*, 2009).

Efek toksikologi karbofuran pada lingkungan.

Karbofuran secara teknis diturunkan dari asam karbamat yang tersusun atas komponen benzofuranil yang dihubungkan dengan gugus karbamat melalui reaksi metil isosianat dengan 2,3-dihidro-2,2-dimetil-7-hidroksibenzofuran. Senyawaan tersebut diwakili oleh rumus kimia C₁₂H₁₅NO₃. Senyawa ini memiliki sifat fisik berupa bahan kimia dengan bentuk padat kristal putih dengan sedikit bau fenolik, kelarutan tinggi dan adsorpsi rendah dalam tanah (Rahman & Sabiha, 2018). Senyawa karbofuran adalah pestisida sistemik tanaman, yang bekerja melalui getah floem terhadap hama pengisap tanaman padi seperti *Nephotettix virescens* (wereng hijau), *Nilaparvata lugens* (wereng coklat), penggerek batang, dan belatung ulir (Hsu *et al*, 2012). Penggunaan karbofuran juga diterapkan pada jenis tanaman komoditas pertanian dan perkebunan seperti kentang, jagung, kedelai, stroberi, anggur, gandum dan alfa-alfa untuk mengendalikan ulat akar jagung, kutu daun, belatung putih, ulat

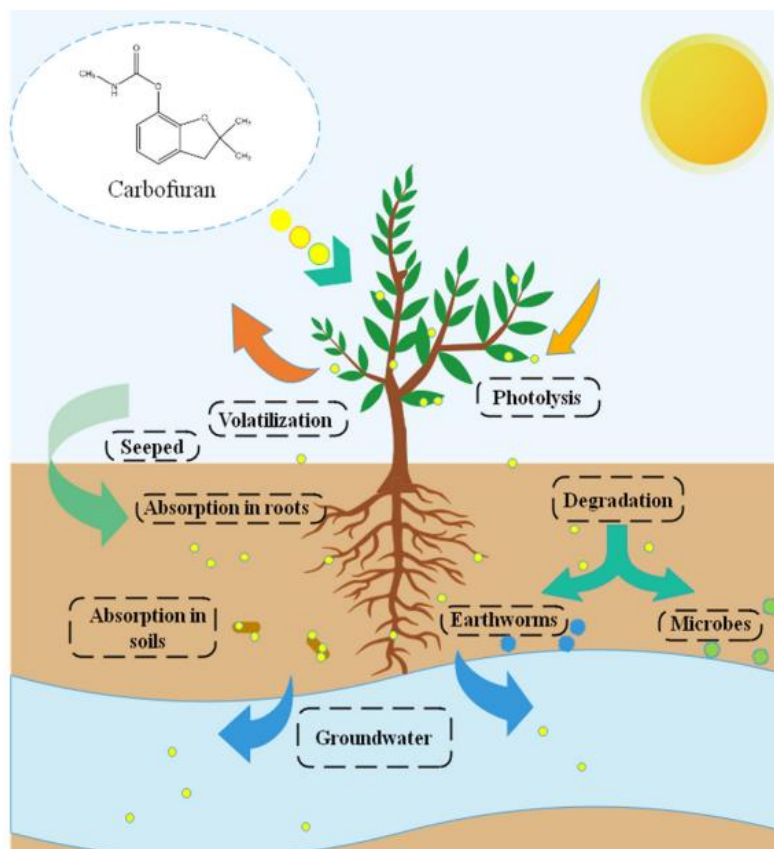
kabel, dan kumbang boll. Setelah diaplikasikan di tanah atau air, maka senyawaan karbofuran akan mudah diserap oleh akar tanaman dan berpindah ke daun dan bagian tanaman lainnya. Sebelumnya, karbofuran digunakan dalam bentuk cair dan butiran, tetapi Badan Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat (US EPA) dan Uni Eropa telah sepenuhnya melarang penggunaannya dalam kedua bentuk karena efek toksikologi pada organisme non Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) yaitu unggas (Onunga *et al.*, 2015). Bentuk butiran biji mirip karbofuran yang disalah artikan oleh burung sebagai pasir atau makanan sehingga menyebabkan kematian. Namun, formulasi cair karbofuran masih digunakan pada beberapa negara berkembang antara lain India, Kenya, China, Thailand, Pakistan dan Sri Lanka (Mahboob *et al.*, 2014).



Gambar 1. Struktur kimia dari karbofuran
(Sumber: Sharma, R., & Sharma, B., 2012)

Formulasi komersial dari karbofuran dan residunya dapat dengan mudah merusak ekosistem lingkungan seperti tanah, air dan tanaman melalui beberapa bentuk kontaminasi seperti penyemprotan langsung, limpasan permukaan, penggenangan atau paparan yang tidak disengaja. Banyak penelitian telah dilakukan tentang kemanjuran karbofuran terhadap hama, serangga, dan nematoda tanah. Namun, informasi yang tersedia masih terbatas terkait dengan efek toksik residu dan metabolit karbofuran di lahan pertanian dan tanaman (Singh *et al.*, 2011). Aplikasi karbofuran akan mengakibatkan kontaminasi tanah yang mengancam kualitas tanah dan keanekaragaman hayati pada tanah tersebut tersebut, seperti dapat mempengaruhi kesuburan tanah, respirasi, biomassa dan keanekaragaman mikroba, kapasitas mineralisasi nitrogen dan fosfat, dan aktivitas enzimatis tanaman dan mikroba (Mustapha *et al.*, 2019). Karbofuran menghambat proses dehidrogenase yang mewakili aktivitas mikroba tanah (Kalam & Mukherjee, 2001). Karena hambatan pertumbuhan mikroba, aktivitas dehidrogenase dan alkali fosfatase yang terjadi pada tanah dengan proses pemupukan akan terjadi penurunan secara signifikan (Singh *et al.*, 2011). Dengan demikian, maka penggunaan pestisida khususnya jenis pestisida kimia secara ekstensif di tanah pertanian menghasilkan konsekuensi ekologis yang serius (Ontieno *et al.*, 2010). Adapun menurut Sudarmo dalam Amilia *et al.* (2016) menjelaskan bahwa pestisida

yang telah diaplikasikan dapat bertahan dalam suatu sistem lingkungan pada jangka waktu yang cukup lama, sehingga sifatnya persisten dan dapat terakumulasi dalam rantai makanan. Sedangkan untuk pestisida yang kurang persisten, sifatnya lebih mudah terdegradasi di dalam tanah namun tetap efektif terhadap berbagai jenis hama atau OPT sasarannya.



Gambar 2. Dampak Karbofuran Terhadap Lingkungan
(Sumber: [Mishra et al., 2020](#))

Sifat akumulatif dari senyawa turunan pestisida kimia yang masih marak digunakan dapat menimbulkan pencemaran lingkungan. Hal ini ditinjau melalui penelitian yang dilakukan oleh [Poniman et al., \(2020\)](#), terdapat residu pestisida kimia yang ditemukan pada 10 titik sampel tanah dengan lokasi penelitian di Kabupaten Brebes. Konsentrasi residu pestisida kimia tersebut berkisar antara 0,0130 sampai 1,0233 mg/kg. Residu pestisida kimia yang ditemukan di tanah membuktikan bahwa pengaplikasian bahan kimia akan menyebabkan senyawa senyawa penyusunnya akan terikat dengan partikel tanah sehingga apabila dibiarkan terus menerus dalam jangka waktu yang cukup lama akan menyebabkan pencemaran (Tiryaki dan Yemur dalam [Poniman et al., 2020](#)). Residu pestisida kimia turunan karbamat juga ditemukan pada perairan melalui penelitian yang dilakukan oleh [Prasetyo et al., \(2015\)](#), terdapat residu pestisida kimia karbofuran yang ditemukan pada

tiga titik stasiun perairan, yaitu pada badan air atau sungai (titik stasiun 1) dengan asumsi sebagai tempat mengalirnya bahan pencemar dari darat ke sungai, kemudian pada wilayah muara sungai (titik stasiun 2) sebelum ke laut dengan asumsi sebagai tempat terakumulasinya berbagai pencemar yang terbawa dari sungai, dan yang terakhir adalah pada estuari (titik stasiun 3) dengan tujuan untuk mengetahui sejauh mana sebaran residu pestisida karbofuran tersebut. Konsentrasi yang didapatkan apabila diurutkan dari titik stasiun 1 sampai 3, didapatkan tren yang menurun yaitu 0,1377, 0,077, dan 0,005 mg/kg. Hal ini dikemukakan oleh Uktoseya dalam [Poniman et al. \(2020\)](#) yang menyatakan bahwa wilayah laut dengan area lebih luas dan terbuka sehingga residu pestisida akan terurai yang selanjutnya dipengaruhi pula oleh berbagai faktor seperti salinitas, arus laut, dan pH perairan.

Sebagai upaya dalam mereduksi dampak merugikan dari adanya penggunaan pestisida kimia, khususnya yang mengandung turunan organofosfat dan karbamat (termasuk didalamnya karbofuran) maka berbagai metode dapat digunakan untuk mengatasinya. Salah satunya adalah metode teknik remediasi untuk mengatasi tanah tercemar, di antaranya adalah teknologi penggunaan aktivitas mikroorganisme untuk mengurangi polutan yang ada di tanah, yaitu teknik bioremediasi. Teknik ini bergantung pada aktivitas bakteri yang dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroba sekaligus laju degradasinya. Penggunaan teknik ini telah banyak diterapkan oleh berbagai negara yang kondisi tanahnya secara kualitas telah masuk kedalam kategori tercemar. Teknik ini sering digunakan karena mudah diterapkan, ekonomis, dan kemampuan reduksi kontaminan yang cukup besar. Namun sebelum penggunaan metode atau teknik ini, perlu dilakukan pendekatan dan pengelolaan terhadap lokasi pencemaran, misalnya tanah pertanian atau perkebunan, kemudian dilakukan karakterisasi, penilaian risiko, penentuan kontaminasi sumber lokal atau titik, yang selanjutnya dapat disimpulkan pemilihan teknologi remediasi. ([Zouboulis et al., 2011](#) dalam [Mirawanty, 2021](#)).

Ketergantungan kegiatan pertanian di Indonesia terhadap karbofuran.

Merek dagang Furadan 3G sebagai pestisida berbahan dasar unsur senyawa aktif karbofuran masih sangat diminati, sehingga penggunaannya masih terjadi secara masih oleh para petani di Indonesia hingga saat ini. "FMC Corporation" memperkenalkan karbofuran pada tahun 1967 dengan nama dagang komersial "Furadan 3G" untuk mengendalikan serangga penghuni tanah dan serangga pemakan daun ([Trotter et al., 1991](#)). Sudah lebih dari 50 tahun merek dagang Furadan 3G beredar di area persawahan Indonesia sekaligus menjadi pemimpin pasar pestisida Indonesia. Hal ini membuktikan bahwa industri pertanian Indonesia sangat tergantung dengan karbofuran sebagai solusi pemberantas hama tani. Karbofuran juga menjadi pestisida atau insektisida berbahan karbamat yang terkenal di kalangan petani di Indonesia ([Heong & Escalada, 1997](#)).

Penggunaan pestisida sebagai bentuk pembasmian terhadap hama terutama serangga adalah bentuk persepsi yang masih melekat bagi pekerja yang bergelut di bidang pertanian dan perkebunan, yang tidak jarang menimbulkan dampak terhadap lingkungan dan kesehatannya sendiri. Hal ini adalah langkah yang sifatnya tidak berkelanjutan karena adanya sifat racun dan akumulatif pada senyawaan pestisida tersebut yang berpotensi mencemari lingkungan, terlebih lagi pada penggunaan yang tidak menggunakan metode takar yang akurat. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh [Tatuhey et al. \(2020\)](#) pada beberapa desa di Kota Ambon, didapatkan perbedaan sikap petani dalam penggunaan pestisida berbahan kimia. Terdapat sekelompok petani yang cenderung setuju terhadap penggunaan pestisida kimia karena memberikan manfaat dan peningkatan terhadap produksi, namun di sisi lain sekelompok petani yang tidak setuju dalam penggunaan pestisida kimia karena mereka cenderung atau terbiasa dalam menggunakan pestisida dan pupuk berbahan organik. Bentuk ketergantungan tersebut nampaknya perlu diimbangi dengan bentuk edukasi terhadap pengelolaan hama dan penyakit tumbuhan khususnya dalam penggunaan pestisida kimia karena berbagai efek samping yang ditimbulkan. Terdapat kesesuaian terhadap penelitian yang dilakukan oleh [Puspitasari et al \(2017\)](#), yang menyimpulkan bahwa perilaku petani dalam penggunaan pestisida dipengaruhi oleh motif dalam menghindari kegagalan panen terutama karena serangan hama dan penyakit. Hal tersebut selanjutnya akan memengaruhi sikap petani dalam penggunaan pestisida tersebut dengan tidak memperhitungkan harga dan dosis pestisida. Kecenderungan petani menggunakan pestisida kimia dibandingkan pestisida organik juga telah diteliti oleh [Dewi et al. \(2022\)](#) pada para petani di Desa Babul Makmur, Kecamatan Simeuleu Barat, Provinsi Aceh. Persepsi sebagian besar para petani menganggap bahwa pestisida kimia memiliki proses yang lebih cepat dibandingkan dengan pestisida organik terhadap pertumbuhan produk pertanian yang mereka tanam, selain itu penggunaan pestisida kimia lebih mudah dan tidak rumit sehingga dapat diaplikasikan secara luas dan masif. Hal ini diperkuat dengan beberapa petani yang tidak pernah menggunakan pestisida organik sehingga mereka tidak mengetahui pula bagaimana bentuk pestisida organik tersebut. Namun, hampir 78% para petani tersebut telah menyadari bahwa penggunaan pestisida kimia perlu diimbangi dengan perlindungan terhadap diri sendiri terutama ketika melakukan penyemprotan agar tidak menimbulkan dampak yang membahayakan. Di samping itu, 82% para petani telah menyesuaikan cara pakai atau instruksi dalam penentuan dosis pestisida sebelum diaplikasikan di lapangan.

Berdasarkan beberapa kasus yang telah dipaparkan, pestisida kimia masih memiliki popularitas yang cukup luas menurut sudut pandang kalangan petani di beberapa lokasi di Indonesia. Keberadaan senyawa penyusun yang digunakan pada pestisida kimia, dapat ditinjau melalui penentuan atau analisis residunya pada produk pertanian atau perkebunan dengan menggunakan metode kuantitatif yang detail seperti pengujian di laboratorium atau dengan menggunakan metode kualitatif yang biasanya menggunakan metode *rapid kit test*

yang hanya sebatas menunjukkan ada atau tidaknya residu tersebut. Di bawah ini disajikan terkait beberapa penelitian yang menunjukkan konsentrasi residu pestisida pada beberapa produk pertanian maupun perkebunan yang ada di Indonesia.

Tabel 1. Residu Pestisida Pada Beberapa Produk Pertanian atau Perkebunan
(Sumber: Berbagai referensi dan diolah oleh penulis, 2023)

No	Produk	Konsentrasi Residu Pestisida	Metode
1	Sawi hijau dari pasar tradisional di Kota Depok (Wispriyono et al., 2013).	Propoksur (turunan karbamat): 0,048 mg/g berat basah	Analisis HPLC/ KCKT
2	Sayur dan buah dari pasar tradisional di Kota Denpasar (Sudarma et al., 2020).	Residu karbamat dan organofosfat tidak ditemukan. Residu N-phenyl-benzenamida ditemukan sebesar 89% pada buah apel	Analisis GC-MS
3	Cabai Rawit Merah dari pasar swalayan di Kota Bogor (Hartono, 2020).	Profenofos (turunan organofosfat): 0,034 mg/L	Analisis Kromatografi Gas
4	Bawang Merah dari lahan produksi di Kabupaten Brebes (Nining et al., 2019).	Klorpirifos (turunan organofosfat): 0.392 mg/kg	Analisis Kromatografi Gas
5	Tomat buah dari pasar tradisional di Kabupaten Maros (Januati, 2020)	Klorpirifos (turunan organofosfat): 0,023 mg/kg	Analisis Kromatografi Gas

Berdasarkan data diatas, diasumsikan bahwa residu pestisida dalam kategori yang sedang sampai rendah pada beberapa produk pertanian atau perkebunan yang telah dijual di pasaran. Adapun ambang batas residu pestisida untuk golongan pestisida bahan aktif organofosfat dan karbamat ditentukan pada SNI 7317: 2008 dan juga Peraturan Menteri Pertanian Nomor 88/Permentan/PP/340/12/2011. Alegantina dalam [Sudarma et al. \(2020\)](#) menyatakan bahwa waktu maksimal pestisida kimia berada dalam bentuk senyawaan yang belum terdegradasi adalah 7 hari sebelum panen dengan waktu paruh 10–16 jam sehingga residu pestisida telah hilang dan tidak terdeteksi oleh alat. Di samping itu, lokasi pengambilan buah dan sayur untuk diteliti juga berpengaruh terhadap konsentrasi residu

pestisida tersebut. Pengambilan buah dan sayur yang dilakukan pada lokasi penjualan terdapat potensi bahwa sampel dalam kondisi yang sudah dicuci. Selanjutnya penggunaan dosis pestisida yang sudah tepat menyebabkan timbulan konsentrasi residu yang cukup rendah. Hal ini menunjukkan bahwa pestisida kimia akan menimbulkan dampak yang rendah bagi kesehatan manusia apabila ditinjau secara tidak langsung dibandingkan dengan dampak langsung bagi manusia dan lingkungannya seperti tanah, air, maupun komponen lainnya yang terpapar langsung pestisida kimia tersebut. Dampak yang ditimbulkan secara tidak langsung dalam hal ini adalah proses jual beli produk pertanian atau perkebunan yang telah menempuh waktu dengan durasi cukup panjang sehingga di dalam perjalanannya juga terjadi penurunan residu pestisida tersebut. Iklim Indonesia yang adalah iklim tropis juga turut menyebabkan terjadinya waktu paruh yang lebih cepat dibandingkan dengan iklim non tropis pada residu pestisida kimia (Ngan dalam [Januati, 2020](#)). Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh [Januati, \(2020\)](#) yang melakukan analisis terhadap konsentrasi residu pestisida kimia turunan organofosfat atau klorpirifos pada buah tomat di Kabupaten Maros Provinsi Sulawesi Selatan, didapatkan konsentrasi yang menurun ketika buah tomat tersebut telah sampai di pasar yaitu sebesar 0,023 mg/kg dibandingkan ketika buah tomat yang diambil langsung dari petani yaitu sebesar 0,459 mg/kg.

Peran pemerintah dalam mengatur peredaran pestisida pada industri pertanian dalam negeri dalam rangka menuju pertanian berkelanjutan.

Pemerintah telah menerbitkan peraturan-peraturan terkait dengan pestisida pada tingkat pengadaan atau produksi, peredaran, penggunaan dan penyimpanannya, agar pestisida yang beredar dan digunakan di Indonesia sesuai dengan ketentuan yang telah ditetapkan dan disepakati. Pestisida yang diedarkan dan digunakan harus pestisida yang telah terdaftar dan memperoleh izin dari Kementerian Pertanian Republik Indonesia, label atau kemasan sesuai dengan aturan berlaku serta mutunya harus sesuai dengan batas toleransi yang ditetapkan. Peraturan-peraturan terkait telah diterbitkan adalah sebagai berikut :

1. Peraturan Pemerintah Nomor 7 tahun 1973 tentang Pengawasan atas Peredaran dan Penggunaan Pestisida.
2. Peraturan Pemerintah RI Nomor 6 Tahun 1995 tentang Perlindungan Tanaman.
3. Penjelasan atas Peraturan Pemerintah RI Nomor 6 Tahun 1995 tentang Perlindungan Tanaman.
4. Keputusan Menteri Pertanian Nomor 887/KPTS/OT.210/9/1997 Tentang Pedoman Pengendalian Organisme Pengganggu Tumbuhan
5. Undang-Undang RI Nomor 8 Tahun 1999 tentang Perlindungan Konsumen
6. Penjelasan atas Undang-Undang RI Nomor 8 Tahun 1999 tentang Perlindungan Konsumen
7. Peraturan Pemerintah RI Nomor 25 Tahun 2000 tentang Kewenangan Pemerintah dan Kewenangan Propinsi sebagai Daerah Otonom

8. Penjelasan atas Peraturan Pemerintah RI Nomor 25 Tahun 2000 tentang Kewenangan Pemerintah dan Kewenangan Propinsi sebagai Daerah Otonom
9. Peraturan Menteri Pertanian Nomor 107/Permentan/SR.140/9/2014 tentang Pengawasan Pestisida
10. Peraturan Menteri Pertanian Nomor 43 Tahun 2019 tentang Pendaftaran Pestisida.
11. Undang-Undang RI Nomor 22 Tahun 2019 tentang Sistem Budidaya Pertanian Berkelanjutan.
12. Penjelasan atas Undang-Undang RI Nomor 22 Tahun 2019 tentang Sistem Budidaya Pertanian Berkelanjutan.

Pada Undang-Undang RI Nomor 22 Tahun 2019 tentang Sistem Budidaya Pertanian Berkelanjutan, telah mengatur terkait pengelolaan hama dan penggunaan pestisida sebagai berikut:

Pasal 48

(1) Pelindungan Pertanian dilaksanakan dengan sistem **pengelolaan hama terpadu** serta penanganan dampak perubahan iklim. (2) Pelaksanaan Pelindungan Pertanian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) menjadi **tanggung jawab Pemerintah Pusat dan Pemerintah Daerah sesuai dengan kewenangannya, Petani, Pelaku Usaha, dan masyarakat.**

Pasal 49

Pelindungan Pertanian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 48 dilaksanakan melalui kegiatan: a. pencegahan masuknya Organisme Pengganggu Tumbuhan dan penyakit hewan dari luar negeri ke dalam wilayah negara Republik Indonesia serta tersebarnya dari suatu area ke area lain di dalam wilayah negara Republik Indonesia sesuai dengan ketentuan peraturan perundangundangan; b. pengendalian Organisme Pengganggu Tumbuhan dan penyakit hewan; dan c. penanganan dampak perubahan iklim.

Pasal 65

(1) Sarana Budi Daya Pertanian terdiri atas:

- a. Benih Tanaman dan Benih Hewan atau Bibit Hewan;
- b. Pupuk;
- c. pestisida;
- d. pakan; dan
- e. alat dan mesin Pertanian.

(2) Sarana Budi Daya Pertanian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) berasal dari dalam negeri atau luar negeri.

(3) Sarana Budi Daya Pertanian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dapat dikembangkan dengan teknologi yang memperhatikan kondisi iklim, kondisi Lahan, dan ramah lingkungan.

Pasal 75

Pestisida sebagaimana dimaksud dalam Pasal 65 ayat (1) huruf c merupakan semua zat kimia dan bahan lain serta jasad renik dan virus yang dapat dipergunakan untuk: a. memberantas atau mencegah: 1. hama dan penyakit yang merusak Tanaman atau hasil Pertanian; 2. hama luar pada hewan piaraan dan ternak; 3. hama air; 4. binatang dan jasad renik dalam rumah tangga, bangunan, dan dalam alat pengangkutan; dan 5. binatang yang dapat menyebabkan penyakit pada manusia atau binatang yang perlu dilindungi dengan penggunaan pada Tanaman, tanah, atau air; b. memberantas rerumputan dan/atau Tanaman yang tidak diinginkan; c. mematikan dan mencegah pertumbuhan bagian Tanaman yang tidak diinginkan; dan d. mengatur atau merangsang pertumbuhan Tanaman atau bagian Tanaman yang tidak termasuk Pupuk.

Pasal 76

(1) Pestisida sebagaimana dimaksud dalam Pasal 75 pengadaannya dilakukan melalui produksi dalam negeri dan/atau pemasukan dari luar negeri. (2) Pestisida sebagaimana dimaksud pada ayat (1) yang diedarkan wajib terdaftar. (3) Pestisida yang terdaftar sebagaimana dimaksud pada ayat (2) harus memenuhi standar mutu, terjamin efektivitasnya, dan diberi label. (4) Pestisida sebagaimana dimaksud pada ayat (1) yang digunakan **harus memperhatikan kesehatan masyarakat dan kelestarian lingkungan**. Pasal 77 (1) Setiap Orang **dilarang mengedarkan dan/atau menggunakan Pestisida yang tidak terdaftar, membahayakan kesehatan masyarakat dan kelestarian lingkungan**, dan/atau tidak berlabel. (2) Pestisida yang dilarang peredaran dan/atau penggunaannya sebagaimana dimaksud pada ayat (1) wajib dimusnahkan oleh Setiap Orang yang menguasai pestisida. (3) Dalam hal Setiap Orang yang menguasai pestisida sebagaimana dimaksud pada ayat (2) tidak diketahui keberadaannya, pemerintah berkewajiban melakukan pemusnahan.

Pasal 123

Setiap Orang yang mengedarkan dan/atau **menggunakan pestisida yang tidak terdaftar, membahayakan kesehatan masyarakat dan kelestarian lingkungan**, dan/atau tidak berlabel sebagaimana dimaksud dalam Pasal 77 ayat (1) **dipidana dengan pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan pidana denda paling banyak Rp 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah)**.

Pasal 124

Setiap Orang yang menguasai pestisida yang dilarang peredaran dan/atau penggunaannya sebagaimana dimaksud dalam Pasal 77 ayat (2) dan tidak memusnahkan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan pidana denda paling banyak Rp 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).

Dari peraturan perundang-undangan tersebut telah secara khusus mengatur terkait pengelolaan hama dan penggunaan pestisida, namun penulis berpendapat bahwa peraturan tersebut belum secara tegas mendefinisikan dan mengatur terkait penggunaan pestisida yang berbahaya.

4. Kesimpulan

Degradasi lingkungan dampak dari eksistensi karbofuran di industri pertanian di Indonesia sudah terjadi sejak lama. Berbagai hasil penelitian menyatakan penggunaan karbofuran berpengaruh terhadap degradasi lingkungan dan kesehatan yang buruk. Namun hal ini belum menjadi perhatian khusus dari pemerintah Indonesia meskipun berdasarkan Pertemuan ke-8 Konvensi Rotterdam pada tahun 2017 yang menyatakan bahwa pestisida kimia karbofuran dikategorikan sebagai jenis pestisida yang disarankan untuk dilarang penggunaannya karena berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Jika tidak segera dimitigasi, maka aplikator dan masyarakat akan semakin sulit untuk melepaskan ketergantungan terhadap obat-obatan pestisida berbahaya berbahan dasar karbofuran.

Maka dari itu perlu dilakukan pengendalian pencemaran pestisida dan pengaruh negatifnya terhadap lingkungan dan organisme yang bukan sasarannya dengan **(1)** Menerbitkan regulasi perundang undangan yang dibakukan dalam rangka melarang penggunaan dan peredaran pestisida dengan risiko tinggi. Sehingga dengan adanya peraturan, efek negatif pestisida dapat dikurangi, namun perlu diperhatikan terkait dampak sosial yang mungkin terjadi apabila pemerintah memberlakukan pelarangan penggunaan pestisida kimia karena sifat ketergantungan para petani Indonesia yang tinggi terhadap penggunaan pestisida kimia turunan karbamat tersebut, seperti karbofuran. **(2)** Mengimplementasikan regulasi yang lebih ketat mengatur terkait dengan penggunaan obat-obatan pestisida kimia yang berbahaya. **(3)** Mendorong industri untuk mengembangkan dan memproduksi pestisida ramah lingkungan untuk mewujudkan pertanian berkelanjutan. Salah satu pestisida ramah lingkungan yaitu dengan metode Biopestisida. **(4)** Menerapkan metodologi dan teknologi ilmiah baru dan langkah-langkah yang bermanfaat, seperti pengelolaan hama terpadu (PHT).

Selain itu, sangat penting untuk melakukan sosialisasi hasil ilmiah untuk memberikan pemahaman ilmiah terkait aplikasi pestisida, pencegahan efek kesehatan yang merugikan dari penggunaan pestisida, dan promosi keselamatan bagi aplikator dan masyarakat untuk mendukung keberlanjutan.

Selanjutnya diperlukan penelitian lebih lanjut berfokus pada paparan lingkungan dan penilaian risiko kesehatan terkait pestisida karbofuran untuk dapat lebih memahami penggunaan dan pengelolaan pestisida di masa mendatang dan juga penelitian terkait dengan inovasi pada pengelolaan hama terpadu (PHT).

Ucapan Terima Kasih

Penulis berterima kasih kepada reviewer dan tim IASSF untuk mendukung penelitian ini.

Kontribusi Penulis

Konseptualisasi, H.A and N.A.; investigasi, J.S; penulisan manuskrip, H.A, N.A and J.S; metodologi; J.S; Review & Editing H.A, N.A and J.S. Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi naskah yang diterbitkan.

Pendanaan:

Penelitian ini tidak menerima dana eksternal

Pernyataan Dewan Kaji Etik:

Tidak berlaku

Pernyataan Persetujuan Atas Dasar Informasi:

Tidak berlaku

Pernyataan Ketersediaan Data:

Tidak berlaku

Konflik Kepentingan:

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan

Daftar Pustaka

- Amilia, E., Joy, B., & Sunardi, S. (2016). Residu Pestisida pada Tanaman Hortikultura (Studi Kasus di Desa Cihanjuang Rahayu Kecamatan Parongpong Kabupaten Bandung Barat). *Agrikultura*, 27(1). <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v27i1.8473>
- Carson, R. (1990). *Musim Bunga Yang Bisu*. Terj. dari *Silent Spring* (Kusworo, B., Penerjemah). Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.
<https://opac.perpusnas.go.id/DetailOpac.aspx?id=153453>
- Dewi, Y. S., Lizmah, S. F., Resdiar, A., & Chairuddin, C. (2022). Persepsi Petani tentang Penggunaan Pestisida di Desa Babul Makmur Kecamatan Simeulue Barat. *Jurnal Agrotek Lestari*, 8(1), 1-8. <https://doi.org/10.35308/jal.v8i1.4731>
- Fleischer, G. (1999). Social costs and benefits of chemical pesticide use-Case study of German agriculture. *Evaluation of IPM programs-Concepts and methodologies. Institut für Gartenbauökonomie, Universität Hannover, Deutschland. Pesticide Policy Project Publication Series*, (8), 38-41.
<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=b734688e9b6ec4a315ff1c2e1a4c66724c77d98c#page=46>
- Fizulmi, G. (2022). *Tingkat Risiko Kesehatan Lingkungan Akibat Paparan Residu Pestisida Bahan Fungisida dalam Kebiasaan Mengonsumsi Air Minum Pada Wilayah Pemukiman Pertanian di Desa Jonggol, Kabupaten Bogor Tahun 2022*. Tesis. FKM UI.
<https://lib.ui.ac.id/detail?id=20526470&lokasi=lokal>

- Heong, K.L. & Escalada, M.M. (1997). A Comparative Analysis of Pest Management Practices of Rice Farmers in Asia. In Heong, K.L. & Escalada, M.M. (Eds.): *Pest Management of Rice Farmers in Asia*. pp: 221-242.
[https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=uY0obcrK6WcC&oi=fnd&pg=PA227&dq=Heong,+K.L.+%26+Escalada,+M.M.+\(1997\).+A+Comparative+Analysis+of+Pest+Management+Practices+of+Rice+Farmers+in+Asia.+In+Heong,+K.L.+%26+Escalada,+M.M.+\(Eds.\):+Pest+Management+of+Rice+Farmers+in+Asia.++pp:+221-242.&ots=iuhfkYoYoT&sig=v6wp65FmVnF4njQ58-INmfVKDes](https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=uY0obcrK6WcC&oi=fnd&pg=PA227&dq=Heong,+K.L.+%26+Escalada,+M.M.+(1997).+A+Comparative+Analysis+of+Pest+Management+Practices+of+Rice+Farmers+in+Asia.+In+Heong,+K.L.+%26+Escalada,+M.M.+(Eds.):+Pest+Management+of+Rice+Farmers+in+Asia.++pp:+221-242.&ots=iuhfkYoYoT&sig=v6wp65FmVnF4njQ58-INmfVKDes)
- Hartono, R. (2020). Residu Pestisida Organophosphates dan Carbamates Pada Cabai Rawit Merah (*Capsicum frutescens* L.) di Bogor. *Agrivet*. 8(1).
<https://jurnal.unma.ac.id/index.php/AG/article/view/2039/0>
- HSDB. (2011). *Carbofuran*. National library of medicine.
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2566>
- Hsu, C.H., Hu, C.C., & Chiu, T.C. (2012). Analysis of carbofuran, carbosulfan, isoprocarb, 3-hydroxycarbofuran, and 3-ketocarbofuran by micellar electrokinetic chromatography. *Journal of Separation Science*, 35, 1395-1364.
<https://doi.org/10.1002/jssc.201101108>
- Hodgson, E., & Levi, P.E. (1996). Pesticides: an important but underused model for the environmental health sciences. *Environmental Health Perspectives*, 104, 97-106.
<https://doi.org/10.2307/3432700>
- Houndekon, V. A., & De Groote, H. (1998). Health costs and externalities of pesticide use in locust and grasshopper control in the Sahel.
<http://dx.doi.org/10.22004/ag.econ.20966>
- Indraningsih. (2008). Pengaruh Penggunaan Insektisida Karbamat Terhadap Kesehatan Ternak dan Produknya. *WARTAZOA*, 18(2): 101-114.
<https://repository.pertanian.go.id/bitstreams/34b85d69-c9d7-48b6-9347-57ef851cda5f/download>
- Januati, J. (2020). Analisis Residu Pestisida pada Buah Tomat di Sulawesi Selatan. *AGROTEK: Jurnal Ilmiah Ilmu Pertanian*, 4(1), 77-87.
<https://doi.org/10.33096/agrotek.v4i1.98>
- Jenni, A., Suhartono, S., & Nurjazuli, N. (2014). Hubungan Riwayat Paparan Pestisida dengan Kejadian Gangguan Fungsi Hati (Studi Pada Wanita Usia Subur di Daerah Pertanian Kota Batu). *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 13(2), 62-65.
<https://doi.org/10.14710/jkli.13.2.62%20-%2065>
- Jungbluth, F. (1996). Crop Protection Policy in Thailand: Economic and Political Factors Influencing Pesticide Use. *Pesticide Policy Project Publication Series No 5*, University of Hanover.
- Kalam, A., & Mukherjee, A. K. (2001). Influence of hexaconazole, carbofuran and ethion on soil microflora and dehydrogenase activities in soil and intact cell.
<http://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/23640>

- Kamel, F., Boyes, W.K., Gladen, B.C., Rowland, A.S., Alavanja, M.C., Blair, A., & Sandler, D.P., (2000). Retinal degeneration in licensed pesticide applicators. *American Journal of Industrial Medicine*, 36, 618-628. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0274\(200006\)37:6%3C618::AID-AJIM6%3E3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0274(200006)37:6%3C618::AID-AJIM6%3E3.0.CO;2-E)
- López-Bao, J. V., & Mateo-Tomás, P. (2022). Wipe out highly hazardous pesticides to deter wildlife poisoning: The case of carbofuran and aldicarb. *Biological Conservation*, 275. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109747>
- Mahmudah, M., Wahyuningsih, N. E., & Setyani, O. (2012). Kejadian keracunan pestisida pada istri petani bawang merah di Desa Kedunguter Kecamatan Brebes Kabupaten Brebes. *Media Kesehatan Masyarakat Indonesia*, 11(1), 65-70. <https://doi.org/10.14710/mkmi.11.1.65-70>
- Mahboob, S., Al-Ghanim, K. A., Fares Al-Balwi, H. A., Al-Misned, F., & Ahmad, Z. (2014). Carbofuran-induced effects on acetylcholinesterase (AChE) in erythrocytes and liver of *Cyprinus carpio*. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 96(4), 614-623. <https://doi.org/10.1080/02772248.2014.957486>
- Mirawanty, A. (2021). Polusi Tanah dan Dampaknya Terhadap Kesehatan. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. 15(1). 36-45. https://www.researchgate.net/publication/353126248_POLUSI_TANAH_DAN_DAMPAKNYA_TERHADAP_KESEHATAN_MANUSIA
- Mishra, S., Zhang, W., Lin, Z., Pang, S., Huang, Y., Bhatt, P., & Chen, S. (2020). Carbofuran toxicity and its microbial degradation in contaminated environments. *Chemosphere*, 259, 127419. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127419>
- Mishra, R.K., Naseer, M & Roychoudhury, N. (2016). *Soil pollution: causes, effects and control*. Tropical Forest Research Institute, Jabalpur, MP, India, 3 (January), 3(1): 1-14. https://www.researchgate.net/profile/Arvind_Singh56/post/what_kind_of_agricultural_chemicals_are_creating_soil_pollution/attachment/59d650e279197b80779a998d/AS%3A505223965835266%401497466188630/download/Soil-Rajesh.pdf
- Mustapha, M. U., Halimoon, N., Johar, W. L. W., & Abd Shukor, M. Y. (2019). An overview on biodegradation of carbamate pesticides by soil bacteria. *Pertanika Journal of Science & Technology*, 27(2). <https://core.ac.uk/download/pdf/219503995.pdf>
- Mineau, P., Porter, S., & Meteyer, C. U. (2011). Carbofuran: toxicity, diagnosing poisoning and rehabilitation of poisoned birds. *Carbofuran and wildlife poisoning: global perspectives and forensic approaches*, 19-38. <https://doi.org/10.1002/9781119998532.ch2>
- Nining, E., Nazli, R. S. S., Mas'ud, Z. A., Machfud, M., & Sobir, S. (2019). Profil residu insektisida organofosfat di kawasan produksi bawang merah (*allium ascalonicum* L.) Kabupaten Brebes Jawa Tengah. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 9(4), 999-1009. <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.9.4.999-1009>

- Onunga, D. O., Kowino, I. O., Ngigi, A. N., Osogo, A., Orata, F., Getenga, Z. M., & Were, H. (2015). Biodegradation of carbofuran in soils within Nzoia River Basin, Kenya. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 50(6), 387-397. <https://doi.org/10.1080/03601234.2015.1011965>
- Otieno, P. O., Lalah, J. O., Virani, M., Jondiko, I. O., & Schramm, K. W. (2010). Soil and water contamination with carbofuran residues in agricultural farmlands in Kenya following the application of the technical formulation Furadan. *Journal of Environmental Science and Health Part B*, 45(2), 137-144. <https://doi.org/10.1080/03601230903472058>
- Pamungkas, O. S. (2016). Bahaya paparan pestisida terhadap kesehatan manusia. *Bioedukasi*, 14(1). <https://jurnal.unej.ac.id/index.php/BIOED/article/view/4532>
- Petruzzelli G, Gorini F, Fezzarossa B, & Pedron F. (2010). The fate of pollutants in soil. In Bianchi F, Cori L, Moretti PF (Eds): *CNR Environment and Health Inter-Departmental Project*. pp: 1-31. <https://dta.cnr.it/wp-content/uploads/2019/12/PIAS-C1.pdf>
- Pimentel, D. (1993). *World Soil Erosion and Conservation*. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511735394>
- Puspitasari, Marendra, K., & Adhitya. (2017). Perilaku Petani dalam Menggunakan Pestisida di Sentra Produksi Bawang Merah Kabupaten Brebes. *Prosiding Seminar Nasional Agroinovasi Spesifik Lokasi untuk Ketahanan Pangan Pada Era Masyarakat Ekonomi ASEAN*. Hal 786-795. <https://repository.pertanian.go.id/handle/123456789/7303>
- de Melo Plese, L. P., Paraiba, L. C., Foloni, L. L., & Trevizan, L. R. P. (2005). Kinetics of carbosulfan hydrolysis to carbofuran and the subsequent degradation of this last compound in irrigated rice fields. *Chemosphere*, 60(2), 149-156. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.02.049>
- Poniman, S., Helmi, M., & Purnariyanto, F. (2020). Monitoring Residu Insektisida Golongan Organofosfat di Lahan Sayuran Dataran Rendah Mendukung Pengelolaan Lingkungan di Daerah. *Prosiding Seminar Nasional Semarang "Pembangunan Hijau dan Perizinan: Diplomasi, kesiapan perangkat dan pola standarisasi"*.
- Prasetyo, D.E., Wulandari, S.Y., & Ismunarti, D.H. (2015). Kajian Konsentrasi Pestisida Karbamat (Karbofuran dan Metomil) di Perairan Mlonggo, Kabupaten Jepara. *Jurnal Oseanografi*. 4(2). 451-456. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/joce/article/view/8391>
- Purba, I.G. (2009). *Analisis Faktor-Faktor yang Berhubungan Dengan Kadar Kolinesterase pada Perempuan Usia Subur di Daerah Pertanian*. (Tesis). Semarang: Universitas Diponegoro. http://eprints.undip.ac.id/23855/1/IMELDA_GERNAULI_PURBA.pdf
- Rahman, M.A., & Sabiha, S. (2018). Efficacy of carbofuran against pulse beetle *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: bruchidae) in black gram (*Vigna mungo* L) seeds. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6, 2480-2486.

- <https://www.entomoljournal.com/archives/2018/vol6issue2/PartAB/6-1-293-366.pdf>
- Rai, D.K., Rai, P.K., Rizvi, S.I., Watal, G., & Sharma, B. (2009). Carbofuran-induced toxicity in rats: protective role of vitamin C. *Experimental & Toxicologic Pathology*, 61, 531-535. <https://doi.org/10.1016/j.etp.2008.11.003>
- Rola, A. C. & Pingali, P. L. (1993). *Pesticides, Rice Productivity, and Farmers' Health, an Economic Assessment*. World Resources Institute, IRRI. http://books.irri.org/971220037X_content.pdf
- Sandhya M., Wenping Z., Ziqiu L., Shimei P., Yaohua H., Pankaj B., & Shaohua C. (2020). Carbofuran toxicity and its microbial degradation in contaminated environments. *Chemosphere*, 259, 127419. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127419>
- Satar, S., Seydaoglu, G., & Alparslan, N. (2005). Frequency and mortality risk factors of acute adult poisoning in Adana, Turkey, 1997-2002. *The Mount Sinai Journal of Medicine*, 72, 393-401. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16358165/>
- Setiawati, W., Jayanti, H., Hudayya, A., & Hasyim, A. (2015). Pengaruh insektisida karbofuran terhadap kerusakan dan kehilangan hasil kentang akibat serangan *Gryllotalpa hirsuta* Burmeister (Ortoptera: Gryllotalpidae) serta dampaknya terhadap keanekaragaman Artropoda Tanah. *Jurnal Hortikultura*, 25(1), 54-62. <https://repository.pertanian.go.id/handle/123456789/13407>
- Singh, R.P., Varshnev, G., & Srivastava, G. (2011). Effect of carbofuran on enzymatic activities and growth of tomato plant in natural, fertilized and vermicompost-amended soils. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 58, 1349-1364. <https://doi.org/10.1080/03650340.2011.587960>
- Sharma, R. K., & Sharma, B. (2012). In-vitro carbofuran induced genotoxicity in human lymphocytes and its mitigation by vitamins C and e. *Disease Markers*, 32(3), 153-163. <https://doi.org/10.3233/DMA-2011-0870>
- Sudarma, N., Putri, N.L.N.D.D.P., & Prihatingsih, D. (2020). Identifikasi Residu Pestisida Organofosfat dan Karbamat pada Buah dan Sayur Yang Dijual di Pasar Badung Desa Dauh Puri Kangin Denpasar Bali Tahun 2019. *Jurnal Kesehatan Terpadu*, 4(1), 13-17. <https://doi.org/10.36002/jkt.v4i1.1181>
- Tatuhey R.R., Pattiselanno, A.E., & Sahunilawane, A.M. (2020). Pengetahuan, Sikap, dan Perilaku Petani Terhadap Penggunaan Pestisida Kimia di Kota Ambon. *Agrilan: Jurnal Agribisnis Kepulauan*, 8(1), 1-13. <http://dx.doi.org/10.30598/agrilan.v8i1.945>
- Tariqa, M.I., Afzalb, S., & Hussain, I. (2006). Degradation and persistence of cotton pesticides in sandy loam soils from Punjab, Pakistan. *Environmental Research*, 100, 184-196. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2005.05.002>
- Thapinta, A. & Hudak, P.F. (2000). Pesticide use and residual occurrence in Thailand. *Environmental Monitoring and Assessment*, 60, 103-114. <https://doi.org/10.1023/A:1006156313253>

- Trotter, D., Kent, R., & Wong, M. (1991). Aquatic fate and effect of carbofuran. *Critical Reviews in Environmental Control*, 21, 137-176. <https://doi.org/10.1080/10643389109388412>
- UNEP, & FAO. (2017). *Operation of the prior informed consent procedure for banned or severely restricted chemicals Decision Guidance Document Methamidophos*. 6–16. <http://www.pic.int/Portals/5/ConventionText/UNEP-FAO-RC-CONVTEXT-2017.English.pdf>
- Utami, R.R., Geerling, G.W., Salami, I.R.S., Notodarmojo, S., & Ragas, A.M.J. (2020). Environmental prioritization of pesticide in the Upper Citarum River Basin, Indonesia, using predicted and measured concentrations. *Science of The Total Environment*, 738, 140130. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140130>.
- Vyas, N.B., Spann, J.W., Hulse, C.S., Bauer, W., & Olson, S. (2005). From the field: carbofuran detected on weathered raptor carcass feet. *Wildlife Society Bulletin*, 33, 1178-1182. [https://doi.org/10.2193/0091-7648\(2005\)33\[1178:FTFCDO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2193/0091-7648(2005)33[1178:FTFCDO]2.0.CO;2)
- WHO. (1997). *The WHO Recommended Classification of Pesticides by Hazard and Guidelines to Classification 1996-1997*. LINEP, ILO, WHO. p. 64. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/332193/9789240005662-eng.pdf>
- Wispriyono, B., Yanuar, A., & Fitria, L. (2013). Tingkat Keamanan Konsumsi Residu Karbamat dalam Buah dan Sayur Menurut Analisis Pascakolom Kromatografi Cair Kinerja Tinggi. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Nasional*. 7(7). pp. 317-323. <http://dx.doi.org/10.21109/kesmas.v7i7.30>
- Wilkinson, C.F. (1988). Introduction and Overview. In Baker, S.R. and Wilkinson, C.F. (eds). *The Effects of Pesticides on Human Health*. Princeton Scientific Publishing Co. Inc. Princeton, hal. 5-3. <https://nasdonline.org/763/d000584/introduction-and-overview-the-effect-of-pesticides-on.html>
- Zouboulis AI, Moussas PA, & Nriagu ECJO. (2011). Groundwater and Soil Pollution: Bioremediation. *Encyclopedia of Environmental Health* pp. 1037–1044. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11246-1>
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Carbofuran>. Diakses: 26 Desember 2022