
Dari Basel ke Laut: Jejak Pencemaran Kimia Akibat Insiden Sandoz 1986

Peter Einstein Christiaan & Muhammad Imam Nugroho✉

Universitas Brawijaya

ABSTRAK

Insiden kebakaran Gudang Sandoz di Swiss menyebabkan pencemaran besar di Sungai Rhine akibat aliran air pemadam yang terkontaminasi bahan kimia pestisida, merusak ekosistem sungai dan memicu keresahan publik serta tekanan terhadap industri kimia. Peristiwa ini memperlihatkan bagaimana kelalaian dalam sistem penyimpanan bahan berbahaya dapat berdampak luas pada lingkungan lintas negara. Penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan kronologi kejadian, dampak pencemaran terhadap biota air, serta upaya penanganan oleh berbagai pihak. Metode yang digunakan adalah analisis deskriptif berbasis studi literatur dari berbagai sumber ilmiah dan dokumentasi resmi yang membahas insiden tersebut. Data dikumpulkan dan dianalisis untuk menggambarkan dampak ekotoksikologis serta persebaran pestisida di sepanjang aliran sungai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pencemaran menyebabkan kematian massal biota akuatik dan kerusakan jangka panjang terhadap keseimbangan ekosistem perairan. Diperlukan kesadaran dan kesiapsiagaan lebih tinggi dari sektor industri dan pemerintah agar kejadian serupa tidak terulang.

Kata kunci: Sandoz, Rhine, pestisida, pencemaran, ekosistem

From Basel to Sea: Traces of Chemical Pollution from the Sandoz Incident 1986

ABSTRACT

The Sandoz warehouse fire incident in Switzerland caused major pollution in the Rhine River due to the flow of extinguishing water contaminated with pesticide chemicals, damaging the river ecosystem and sparking public unrest and pressure on the chemical industry. This event demonstrates how negligence in hazardous materials storage systems can have far-reaching environmental impacts across countries. This research aims to explain the chronology of the incident, the impact of pollution on aquatic biota, and handling efforts by various parties. The method used was descriptive analysis based on a literature study of various scientific sources and official documentation discussing the incident. Data were collected and analyzed to describe the ecotoxicological impact and the distribution of pesticides along the river. The results showed that the pollution caused mass mortality of aquatic biota and long-term damage to the balance of the aquatic ecosystem. More awareness and preparedness is needed from the industrial sector and the government so that similar incidents do not recur.

Keywords: Sandoz, Rhine, pesticide, pollution, ecosystem

PENDAHULUAN

Awal pencemaran yang terjadi di Basel, Swiss bermula di gudang Sandoz yang mengalir menuju Sungai Rhine. Sungai Rhine merupakan sungai yang melintasi beberapa negara, seperti Perancis, Jerman, Swiss, dan Belanda dengan panjang mencapai 1.230 km (Klein et al., 2022). Beberapa perusahaan industri bahan

kimia terbesar di dunia beroperasi di sepanjang aliran Sungai Rhine, salah satunya adalah Bayer (Britannica, 2024a). Bayer merupakan perusahaan yang bergerak di bidang farmasi dan didirikan pada tahun 1863 oleh Friedrich Bayer yang berkantor pusat di Leverkusen, Jerman (Britannica, 2024b). Perusahaan

✉ Corresponding author
Address : Yogyakarta
Email : imamnugroho5533@gmail.com

ini beroperasi melalui beberapa segmen khususnya agrofarmasi (Forbes, 2024). Salah satu gudang penyimpanan bahan kimia Bayer berada di situs Sandoz yang terletak di dekat Sungai Rhine di Basel, Swiss. Pada tanggal 1 November 1986, terjadi insiden kebakaran di situs Sandoz yang digunakan oleh Bayer sebagai penyimpanan bahan kimia pestisida (Giger & Capel, 1988). Kebakaran tersebut menyebabkan air pemadaman yang membawa bahan kimia pestisida berbahaya mengalir langsung ke Sungai Rhine dalam jumlah yang besar (Hurni, 1988).

Gudang Sandoz yang terletak di Schweizerhalle digunakan sebagai tempat penyimpanan bahan kimia pestisida sebanyak 1,250 ton. Bahan kimia pestisida tersebut diantaranya 859 ton insektisida organofosfat, 2 ton pestisida jenis organoklorin, 71 ton herbisida, 40 ton fungisida (termasuk diantaranya 12 ton etoksietilhidroksida merkuri), dan 200 ton pelarut dan pewarna) (Banner, 2006). Kebakaran yang terjadi di Gudang Sandoz bermula akibat pegawai Sandoz mengemas bahan pewarna Prussian Blue ($C_{18}Fe_7N_{18}$) menggunakan plastik pembungkus yang dipanaskan menggunakan *blowtorch*. Setelah insiden tersebut, penelitian mengungkap bahwa Prussian Blue yang terbakar tidak menimbulkan asap dan api sehingga tindakan preventif terlambat dilakukan (Giger, 2009). Pemadam kebakaran menyemprotkan 10,000-15,000 m³ untuk memadamkan api. Penampung air yang hanya 50 m³ membuat air pemadam kebakaran yang telah tercampur pestisida mengalir masuk ke dalam Sungai Rhine. Air pemadaman yang mengalir ke Sungai Rhine mengangkut sekitar 30 ton bahan kimia yang berbahaya. Banyaknya bahan kimia yang mengalir langsung ke sungai menyebabkan kejadian mati massal bagi beberapa biota Sungai Rhine.

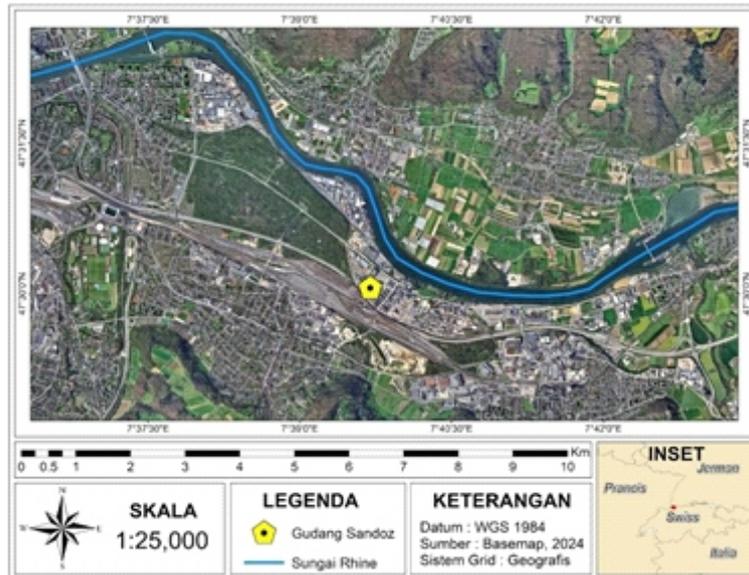
Pencemaran yang terjadi di Sungai Rhine akibat Insiden Sandoz ini mengganggu ekosistem yang ada di Sungai Rhine. Banyak biota akuatik Sungai Rhine yang mengalami mati massal seperti

belut, salmon, *pike*, *pike-perch*, *grayling*, dan *trout*. Penelitian mengungkapkan jumlah biota yang mati akibat bahan kimia pestisida yang masuk ke sungai namun tidak ada yang menjelaskan dampak pestisida bagi biota sehingga dapat mematikan biota tersebut. Maka dari itu, artikel ini membahas tentang bagaimana pestisida dapat mematikan bagi biota yang hidup di perairan yang tercemar bahan kimia pestisida. Kandungan pestisida yang berlebih pada perairan dapat menyerang organ internal, sistem reproduksi, dan alat gerak biota sehingga mengganggu keberlangsungan hidup biota yang hidup di perairan tersebut.

Insiden Sandoz ini merupakan kasus yang sempat mengguncang dunia karena membawa masalah serius bagi lingkungan khususnya sungai. Artikel ini membahas tentang kronologi kejadian, dampak terhadap ekosistem sekitar, dan tindakan perusahaan dan pemerintah setempat dalam menangani kasus ini. Tujuan utama artikel ini yaitu untuk mengetahui dampak dari pestisida terhadap biota Sungai Rhine khususnya belut dan salmon. Dengan adanya artikel ini, diharapkan para pihak perusahaan lebih teliti lagi ketika melakukan proses produksi dan lebih sigap lagi apabila terjadi kecelakaan kerja agar kejadian serupa tidak terjadi lagi di kemudian hari.

METODE PENELITIAN

Studi yang dilakukan merupakan studi literatur yang bersumber dari dokumen resmi, *press release*, jurnal, buku, dokumen, dan *website* resmi. Pengumpulan data menggunakan studi literatur yang berkaitan dengan topik yang diteliti. Data yang telah terkumpul selanjutnya dianalisis menggunakan metode analisis deskriptif. Metode ini memungkinkan peneliti untuk menggali informasi mendalam mengenai topik yang diteliti dengan mengacu pada karya-karya para ahli sebelumnya (Idhartono, 2020). Kata kunci yang digunakan pada topik penelitian ini adalah pestisida dan dibutuhkan setidaknya 35 referensi untuk mendapat hasil yang relevan. Hasil dari



Sumber: Data Primer Diolah (2024)

Gambar 1
Peta Lokasi Gudang Sandoz

analisis yang dilakukan dari beberapa referensi berupa *literature review* untuk memberikan gambaran pencemaran bahan kimia pestisida di Sungai Rhine. Lokasi titik awal pencemaran yaitu Gudang Sandoz dapat dilihat pada Gambar 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Warehouse 356 atau yang lebih dikenal dengan Gudang Sandoz merupakan sebuah tempat penyimpanan milik PT. Bayer yang terletak di tepi Sungai Rhine, Schweizerhalle, Swiss. Bangunan ini memiliki panjang 90 m dan lebar 50 m yang difungsikan sebagai tempat penyimpanan bahan kimia khususnya pestisida (Hurni, 1988). Selain pestisida, Gudang Sandoz juga digunakan untuk menyimpan pelarut, pewarna, dan bahan baku pestisida. Gudang Sandoz menyimpan setidaknya 90 bahan kimia yang berbeda, di mana 21 di antaranya merupakan pestisida yang berbahaya bagi lingkungan (Giger & Capel, 1988). Terdapat sekitar 1250 ton bahan kimia yang tersimpan di Gudang Sandoz yang terdiri dari 859 ton insektisida organofosfat, 2 ton insektisida organoklorin, 71 ton herbisida, 40 ton fungisida, dan 200 ton pelarut dan pewarna (Banner, 2006). Pada awalnya,

Gudang Sandoz digunakan sebagai tempat untuk menyimpan mesin dan peralatan namun diubah menjadi tempat penyimpanan bahan kimia. Hal tersebut membuat bangunan ini tidak memiliki sistem pendeteksi asap dan *sprinkle* yang memadai (Giger, 2009).

Pada tanggal 1 November 1986, terjadi sebuah insiden yang menjadi salah satu bencana ekologis paling parah yang pernah terjadi di Eropa yaitu Insiden Sandoz. Kejadian ini bermula ketika terjadi kebakaran di Gudang Sandoz, Schweizerhalle, Swiss (Boos-Herberger, 1997). Kebakaran pertama kali dilaporkan oleh polisi setempat pukul 00.30. Dalam beberapa, menit merambat dengan cepat membakar seluruh bangunan karena suhu api yang mencapai ribuan derajat. Diperlukan air dalam jumlah besar untuk memadamkan api hingga pemadam kebakaran harus menyemprotkan air mencapai 25 m³ per menit. Satu jam kemudian, telah dikerahkan 200 - 300 petugas pemadam, 15 meriam air, dan 1 kapal pemadam. Pada pukul 05.30, pemerintah Kota Basel memberi peringatan kepada Prefektur Colmar, namun pemerintah Prancis tidak sempat meneruskan peringatan tersebut ke publik ketika peringatan dari Swiss berakhir pukul 07.00. Kebakaran hebat

<p>Organosphosphate Insecticides</p> <ul style="list-style-type: none"> • Disulfoton (323 T) • Thiometon (285 T) • Etrimphos (121 T) • Propetamphos (60 T) • Etil Parathion (25 T) • Fenitrothion (10 T) • Quinalfos (0.6 T) • Formathion (0.3) 	<p>Fungicide</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mercury ethoxyethyl-hydroxyde (12 T) • Oxadixyl (27 T) • Zinebe (0.7 T) • Captafol (0.15 T)
<p>Herbicides</p> <ul style="list-style-type: none"> • DNOC (dinitro-o-cresol) (60 T) • Metoxuron (11 T) 	<p>Sulphur Acaricide</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tedlon-tetradifon (2.32 T)
<p>Organochlorine Insecticides</p> <ul style="list-style-type: none"> • Endosulfan (2 T) 	<p>Emulsifying solvents, intermediary, and manufacturing aid products</p> <ul style="list-style-type: none"> • Detergents • Alcohols • Urea • Amines
<p>Rotenticide</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zinc phosphide (0.45 T) 	<p>Colorants</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rhodamine B • Prussian Blue

Sumber: Giger (2009)

Gambar 2

Bahan Kimia yang Tersimpan di Gudang Sandoz

KRONOLOGI PENCEMARAN SUNGAI RHINE

INSIDEN KEBAKARAN

- Pukul 00.30, 1 November 1986, terjadi kebakaran gudang pestisida Sandoz di, Swiss.
- Air pemadam melarutkan bahan kimia pestisida ke dalam Sungai Rhine.
- 3 November 1986, PT Bayer baru menginformasikan terjadi kebakaran.

PENCEMARAN SUNGAI

- 50 m³ catchpit yang dimiliki gudang tidak mampu menampung 10.000-15.000 m³ air yang digunakan untuk memadamkan api.
- Air yang tercampur 30 ton bahan kimia pestisida yang menimbulkan warna merah larut ke sepanjang Sungai Rhine.
- 190 ton belut mati dan matinya invertebrata mengganggu rantai makanan.
- Pemerintah Jerman dan Perancis melarang penggunaan air dari Sungai Rhine selama 6 bulan.

TINDAKAN PEMERINTAH

- 1 Oktober 1987, *International Commission for the Protection of the Rhine (ICPR)* menganggarkan dana untuk pemulihan kualitas air Sungai Rhine.
- 12 November 1987, Menteri Lingkungan dari negara-negara sekitar berkumpul mendesak Swiss untuk membuat undang-undang mengenai bahan kimia berbahaya.
- 27 Februari 1991, Pemerintah Swiss membentuk *Major Accidents Ordinance (StFV)* untuk membuat regulasi mengenai penyimpanan bahan kimia.
- 1989-1990, investor PT Bayer menganggarkan 15M Swiss Franc untuk pembangunan 2 catchpit 15.000 dan 2.500 m³.

Christiaan & Nugroho, 2024

Sumber: Data Sekunder Diolah, (2024)

Gambar 3

Kronologi Insiden Sandoz 1986



Sumber: IKSJ (2016)

Gambar 4

Upaya Pemadaman Kebakaran Gudang Sandoz

yang membakar Gudang Sandoz mulai dapat dikendalikan pada sekitar pukul 7 pagi. Berdasarkan prosedur peringatan internasional perlindungan Sungai Rhine, Departemen navigasi Sungai Rhine baru diberitahu tentang kecelakaan tersebut pada pukul 9.00, tanggal 3 November 1986, sesuai prosedur internasional (Banner, 2006). Garis besar kronologi insiden Sandoz dari awal mula kebakaran, proses pencemaran sungai, hingga tindakan yang dilakukan oleh pihak perusahaan dan pemerintah dapat dilihat pada Gambar 3.

Departemen Ilmiah Prefektur Arlesheim, Swetzerland, melakukan penyelidikan terkait penyebab kebakaran Gudang Sandoz dan menyimpulkan bahwa kebakaran disebabkan oleh Prussian Blue. Hasil tes menunjukkan bahwa telah terjadi pembakaran selama beberapa jam tanpa adanya api, bau dan asap (Banner, 2006). Sore hari sebelum kejadian, pegawai Gudang Sandoz melakukan pengemasan Prussian Blue dengan *shrink film* menggunakan api terbuka (*blowtorch*). Hal tersebut menyebabkan terjadinya *smouldering* atau pembakaran secara perlahan tanpa nyala api besar. *Smouldering* yang terjadi selama beberapa jam pada akhirnya memicu kebakaran besar dan membakar seluruh Gudang Sandoz (Hurni, 1988).

Pihak pemadam kebakaran melakukan upaya pemadaman dengan menyemprotkan air sebanyak 400 L per detik yang diambil dari Sungai Rhine. Proses pemadaman membutuhkan air dalam jumlah besar hingga 15.000 m³ untuk dapat memadamkan api yang besar. Gudang Sandoz hanya memiliki penampungan air dengan kapasitas 50 m³ (Hurni, 1988). Volume air yang masif tidak dapat ditampung oleh penampungan air Gudang Sandoz sehingga air pemadaman mengalir ke Sungai Rhine melalui saluran pembuangan. Air pemadaman yang mengalir ke Sungai Rhine membawa sekitar 30 ton pestisida dan 200 kg senyawa merkuri yang tersimpan di Gudang Sandoz (Banner, 2006). Bahan kimia yang memiliki konsentrasi paling tinggi yang mengalir ke Sungai Rhine ini antara lain disulfoton, dinitro-cresol, propetamphos, thiometon, ethyl parathion, etrimfos, dan metoxuron. Dari beberapa bahan kimia tersebut, dinitro-cresol, propetamphos, dan parathion merupakan bahan kimia yang paling berbahaya bagi lingkungan (Brüggemann & Halfon, 1990). Beberapa bahan kimia masuk ke kolom air secara langsung, dan ada juga beberapa bahan kimia yang jatuh ke dasar sungai sebagai gumpalan padat (campuran pestisida, pewarna, pelarut) yang tidak dapat larut atau bercampur



Sumber: IKSR (2016)

Gambar 5

Air Pemadaman Berwarna Merah yang Mengalir ke Sungai Rhine

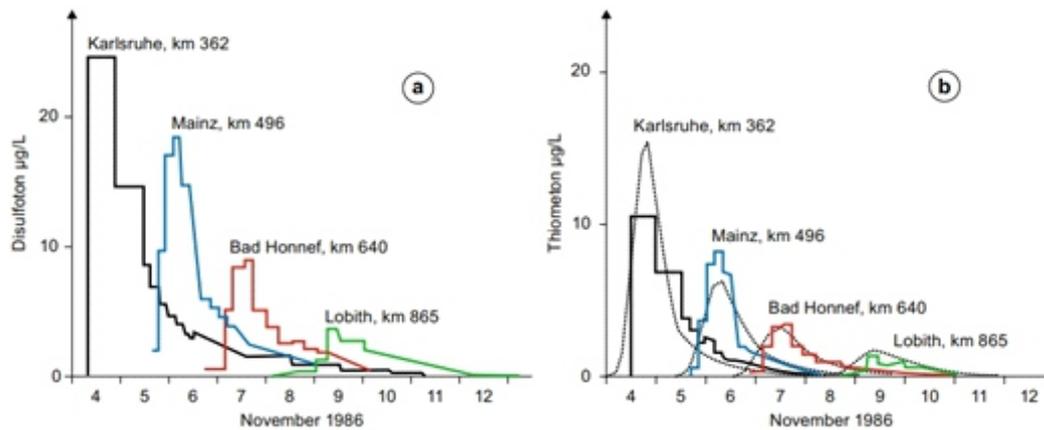
dengan air. Air pemadaman tersebut juga melarutkan pewarna Rhodamine B yang membuat Sungai Rhine menjadi berwarna merah (Giger & Capel, 1988).

Bahan kimia yang masuk ke Sungai Rhine mengalir mengikuti aliran Sungai Rhine hingga melewati beberapa negara seperti Prancis, Jerman, dan Belanda. Hanya dalam 8 hari, bahan kimia tersebut telah mengalir hingga ke Laut Utara. Peneliti mendeteksi serta mengestimasi kontaminasi pestisida pada Village-Neuf melalui stasiun pemantauan di Jerman (Güttinger & Stumm, 1992). Stasiun pemantauan tersebut mencatat kontaminasi pestisida di beberapa tempat seperti Karlsruhe (km 362), Mainz (km 496), Bad Honnef (km 640), dan Lobith (km 865). Pestisida yang dianggap paling mencemari dan berbahaya bagi lingkungan yaitu Disulfoton dan Thiometon yang persebarannya dapat dilihat pada Gambar 3 (Giger, 2009). Selain itu, Village-Neuf juga mengestimasi massa pestisida lain seperti Propetamphos, Formathion, Parathion, Oxadixyl, dan Etrimphos+Formathion (Tabel 1). Massa pestisida yang terpantau mengalami penurunan ketika mendekati hilir. Hal tersebut dapat terjadi karena 2 faktor yaitu (1) proses penguraian oleh alam (proses biologis, kimiawi, maupun fisik) yang cukup cepat guna mengurangi

massa bahan kimia dan (2) karena karakteristik hidrolis dari Sungai Rhine sendiri. Sungai Rhine memiliki zona stagnan yang berada di sistem kanal Prancis. Zona stagnan merupakan area dimana aliran sungai sangat lambat dan hampir tidak ada pergerakan sama sekali sehingga membuat sirkulasi air terhambat dan tidak efektif (Giger & Capel, 1988).

Kejadian pencemaran pestisida di Sungai Rhine ini membawa masalah serius bagi ekosistem di sepanjang Sungai Rhine. Sekitar 30 ton bahan kimia yang masuk ke sungai mengalir sejauh 400 kilometer dari titik awal pencemaran. Hal tersebut menyebabkan gangguan berupa penurunan biodiversitas akibat banyaknya biota yang mengalami mati massal. Insiden ini menyebabkan kematian bagi sekitar 500.000 biota air Sungai Rhine (Giger & Capel, 1988). Beberapa biota yang terdampak pencemaran pestisida ini antara lain belut, salmon, trout, pike, pike-perch, dan grayling. Dampak pencemaran pestisida tidak hanya terlihat pada kematian massal biota, akan tetapi juga menyebabkan penurunan populasi jangka panjang dan gangguan pada rantai makanan, sehingga mengancam keberlangsungan hidup berbagai spesies lainnya (Giger, 2009).

Salah satu biota yang paling terdampak kasus ini yaitu spesies belut.



Sumber: Giger (2009)

Gambar 6
Grafik Persebaran Pestisida di Jerman

Tabel 1
Konsentrasi Pestisida pada Beberapa Area di Jerman

Area	Konsentrasi (µg/L)				
	Village-Neuf (km 173)	Karlsruhe (km 362)	Mainz (km 496)	Bad Honnef (km 640)	Lobith (km 865)
Thiometon	500	10.6	8.3	3.5	2
Propetamphos	100	1.1	3.4	1	-
Disulfoton	600	24.6	18.3	8.9	5.3
Polutan					
Formathion	10	-	-	-	-
Parathion	200	0.4	0.4	0.1	-
Oxadixyl	10	11.5	-	-	-
Etrimphos+	50	3.1	2.6	1.1	-
Formathion					

Sumber: Güttinger & Stumm (1992)

Hanya dalam 5 hari sejak kejadian awal yaitu pada tanggal 5 November 1986, diperkirakan jumlah belut yang mati mencapai 150.000 ekor. Kematian massal bagi spesies belut terjadi sejauh 200 km dari titik awal pencemaran. Faktor utama yang menyebabkan kematian pada belut yaitu pencemaran pestisida organoklorin yang dalam kasus ini yaitu endosulfan. Pestisida organoklorin membawa berbagai efek negatif bagi kelangsungan hidup belut. Paparan pestisida yang berlebih terhadap belut menyebabkan kerusakan pada jaringan dan organ terutama hati dan ginjal. Pestisida dapat

menyebabkan nekrosis atau kematian sel pada hati belut akibat meningkatnya stres oksidatif yang berhubungan dengan peningkatan konsentrasi radikal bebas. Kontaminasi pestisida yang berlebihan juga dapat mempengaruhi metabolisme lipid yang ada di dalam tubuh belut yang menyebabkan lipidosi atau akumulasi lemak dalam sel hati. Selain itu, pencemaran pestisida di air juga dapat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan serta dapat mengganggu sistem reproduksi belut (Oliveira Ribeiro et al., 2005).

Biota lain yang juga banyak ter-

dampak pencemaran pestisida pada Sungai Rhine adalah salmon. Bahkan tercatat populasi salmon menghilang selama lebih dari 10 tahun dan baru ditemukan kembali di Sungai Rhine pada tahun 1997 (BBC, 2001). Sungai Rhine yang tercemar oleh pestisida membawa dampak yang buruk bagi salmon karena biota ini memerlukan air yang bersih dengan kualitas baik untuk berkembang biak. Kontaminasi pestisida yang berlebih pada air sungai dapat menyebabkan kematian langsung maupun efek subletal yang berpengaruh pada kesehatan dan keberlangsungan hidup salmon (Plum & Schulte-WülwerLeidig, 2014). Pestisida juga dapat mengganggu sistem olfaktori salmon yang berfungsi mendeteksi *pheromon* yang dilepaskan oleh salmon betina. Hal tersebut dapat mempengaruhi kemampuan salmon jantan dalam merespon *pheromon* dari salmon betina sehingga mengganggu siklus reproduksi salmon (Potter & Dare, 2003). Paparan pestisida yang berlebihan juga dapat mengganggu siklus migrasi salmon karena pestisida dapat menyerang syaraf pergerakan dari salmon sehingga dapat menurunkan performa berenang salmon bahkan dapat menyebabkan kelumpuhan (Huff et al., 2024).

Pestisida merupakan bahan kimia yang digunakan untuk mengendalikan organisme yang dianggap sebagai hama. Hama ini bisa berupa serangga, gulma, jamur, atau hewan lainnya yang dapat merusak tanaman, ternak, atau lingkungan. Pestisida dibagi menjadi beberapa jenis berdasarkan target hama yang mereka kendalikan, seperti insektisida, herbisida, fungisida, dan rodentisida (United States Environmental Protection Agency, 2024). Karena penggunaannya yang luas, manusia dapat terpapar residu pestisida dalam kadar rendah melalui berbagai cara. Pestisida dapat masuk ke dalam tubuh melalui makan, minum, menghirup, dan kontak kulit (National Institute of Environmental Health Sciences, 2024).

Keracunan pestisida akut (APP) merupakan masalah serius yang terjadi di

seluruh dunia, terutama di negara berkembang dengan regulasi yang lemah. Penelitian menunjukkan variasi dalam insiden APP berbeda tiap negara. Studi di Amerika Tengah menunjukkan tingkat keracunan pestisida akut (APP) sebesar 35 per 100,000 penduduk umum dan 17.8 per 100,000 kasus terkait di Thailand. Di Belize, diperkirakan terjadi 17 kasus keracunan pestisida per 100.000 penduduk dan 4142 kasus keracunan yang dapat dicegah setiap tahun. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penyebab keracunan pestisida bervariasi dari 10% hingga 50% di negara berkembang (Thundiyl, 2008).

Pestisida yang memiliki beragam varian membuat respons kesehatan menjadi kompleks (lebih dari 9.000 jenis). Pestisida dari sektor kesehatan sulit untuk melakukan klasifikasi terhadap manusia (Pascale & Laborde, 2020). Gejala pestisida akut dapat muncul dalam waktu 24 jam setelah terpapar pestisida. Contoh gejala kepada manusia antara lain, iritasi dan kerusakan saraf, kulit, dan mata, sakit kepala, pusing, mual, kelelahan, muntah, sakit perut, dan keracunan sistemis. Karena gejala-gejala ini mirip dengan penyakit lain, sering kali salah didiagnosis dan dapat menyebabkan kematian. Efek samping yang serius dapat menyebabkan masalah pernapasan, gangguan sistem saraf, dan memperburuk kondisi kesehatan yang sudah ada (Oves et al., 2017).

Dari pencemaran pestisida yang terjadi di Sungai Rhine, International Commission for the Protection of the Rhine (ICPR) melakukan restorasi terhadap Sungai Rhine yang diantaranya melakukan implantasi ulang dari spesies ikan superior yang terkena dampak (salmon, *trout*), menjadikan air Sungai Rhine sebagai suplai air minum, mereduksi kontaminasi sedimen yang terlepas ke laut atau yang menyebar dan meningkatkan kualitas air di Laut Utara. Setelah insiden Sungai Rhine, para Menteri Lingkungan Hidup dari negara-negara tetangga bertemu di Zurich pada 12 November untuk meminta Switzerland

Tingkat akumulasi pestisida dalam tubuh hewan air dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti seberapa aktif metabolisme hewan tersebut, ukuran tubuhnya, luas permukaan tubuhnya, dan posisinya dalam rantai makanan. Semakin tinggi di rantai makanan, semakin tinggi pula akumulasi pestisidanya. Jenis dan jumlah pestisida yang terakumulasi dalam tubuh hewan air juga menentukan tingkat keracunannya. Meskipun kadar pestisida dalam daging ikan masih dianggap aman untuk dikonsumsi manusia, paparan terus-menerus terhadap dosis rendah pestisida (subletal) di lingkungan dapat menyebabkan akumulasi dalam jangka panjang dan menimbulkan masalah kesehatan pada ikan seperti gangguan pertumbuhan, reproduksi, dan fungsi organ tubuh lainnya (Taufik, 2011).

Setelah kecelakaan, perusahaan Sandoz mengalami kesulitan dalam membuang limbah berbahaya yang dihasilkan. Tim Sandoz menghabiskan waktu lama untuk membersihkan dan menyimpan limbah tersebut. Setelah itu, sebagian limbah diproses dan dibuang di tempat pembuangan sampah yang sesuai. Untuk mencegah kecelakaan serupa, Sandoz telah mengambil langkah-langkah keamanan, mereka membangun kolam penampungan air untuk pemadaman kebakaran, meningkatkan sistem deteksi kebakaran, dan menghentikan produksi dan penyimpanan bahan kimia berbahaya. Selain itu, Sandoz juga meningkatkan komunikasi dengan departemen pemadam kebakaran setempat (Schwabach, 1989).

Protes dilakukan oleh masyarakat di sekitar Sungai Rhine. Mereka sangat marah dan bereaksi dengan keras terhadap kecelakaan yang terjadi. Mereka memprotes perusahaan Sandoz yang dianggap bertanggung jawab atas insiden yang terjadi. Dalam sebuah pertemuan, direktur Sandoz bahkan dilecehkan secara fisik oleh para pengunjung rasa. Protes melebar luas dengan ribuan orang berdemonstrasi dan merusak fasilitas umum. Media pun mulai menyebut kota

Basel sebagai "Chernobyl" karena kerusakan lingkungan yang parah. Sebagai tanggapan, Sandoz akhirnya meminta maaf dan mengakui kesalahan mereka. Mereka juga berjanji untuk menanggung biaya perbaikan dan mengambil langkah-langkah untuk mencegah kejadian serupa di masa depan (Schwabach, 1989).

Meskipun mikroorganisme di Sungai Rhine masih cukup utuh untuk memperbaiki diri, pemulihan penuh sungai ini diperkirakan akan memakan waktu bertahun-tahun (Peakall, 1989). Pengukuran tingkat kontaminasi dilakukan menggunakan teknik sampling. Identifikasi jenis pestisida yang tercemar di daerah tersebut dengan melakukan pemetaan. Pengurangan penggunaan pestisida untuk pertanian membantu mencegah pencemaran pestisida karena dapat terbawa air hujan dan terendam di sungai (PPID Jember, 2023). Membangun sistem pengolahan limbah di sekitar area yang tercemar membantu mengurangi jumlah pestisida yang masuk ke sungai.

SIMPULAN

Kasus pencemaran Sungai Rhine yang diakibatkan oleh insiden Sandoz 1986 menjadi salah satu kasus pencemaran lingkungan terburuk yang pernah terjadi. Sekitar 30 ton bahan kimia berbahaya yang masuk Sungai Rhine menyebabkan gangguan dengan skala besar pada Sungai Rhine bahkan mengalir melalui beberapa negara dari Swiss, Jerman, Prancis, Belanda, dan berakhir di Laut Utara. Pencemaran pestisida tersebut juga membawa dampak negatif bagi ekosistem di Sungai Rhine khususnya bagi biota akuatik yang hidup di sungai ini. Paparan pestisida yang berlebih menyebabkan kejadian mati massal bagi beberapa biota seperti belut, salmon, *trout*, *pike*, *pike-perch*, dan *grayling*. Kasus ini membuat masyarakat sekitar melakukan protes dan unjuk rasa karena masyarakat menilai Sandoz telah lalai dalam menjaga fasilitasnya sehingga menyebabkan pencemaran lingkungan. Berdasarkan kejadian ini, diharapkan perusahaan lebih

teliti dalam melaksanakan proses produksi agar kejadian seperti ini tidak terjadi lagi di kemudian hari.

DAFTAR PUSTAKA

- Banner, R. (2006). *The Rhine polluted by pesticides Schweizerhalle*. 5187, 1-12.
- BBC. (2001). 1986: Chemical Spill Turns Rhine Red. http://news.bbc.co.uk/onthisday/hi/dates/stories/november/1/newsid_4679000/4679789.stm. Diakses pada tanggal 23 September 2024, pukul 9.21.
- Boos-Herberger, A. (1997). *Transboundary Water Pollution.pdf*.
- Britannica. (2024a). Bayer. <https://www.britannica.com/monney/Bayer>. Diakses pada tanggal 24 September 2024, pukul 10.32
- Britannica. (2024b). *Rhine River Wetland*. <https://www.britannica.com/place/Rhine-River>. Diakses pada tanggal 18 September 2024, pukul 11.54.
- Brüggemann, R., & Halfon, E. (1990). Ranking for environmental hazard of the chemicals spilled in the sandoz accident in November 1986. *Science of the Total Environment*, *The*, 97-98(C), 827 - 837. [https://doi.org/10.1016/00489697\(90\)90278-3](https://doi.org/10.1016/00489697(90)90278-3)
- Forbes. (2024). Bayer. <https://www.forbes.com/companies/bayer/>. Diakses pada tanggal 23 September 2024, pukul 14.31.
- Giger, W. (2009). The Rhine red, the fish dead-the 1986 Schweizerhalle disaster, a retrospect and long-term impact assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, *16 (SUPPL 1)*, 98 - 111. <https://doi.org/10.1007/s11356-0090156-y>
- Giger, W., & Capel, P. D. (1988). The Environmental Fate and Transport of Twentyone Pesticides Introduced to the Rhine River. *Swiss Federal Institute for Water Resources and Water Pollution Control (EAWAG)*, *1(2)*, 12-17.
- Güttinger, H., & Stumm, W. (1992). Ecotoxicology: An analysis of the rhine pollution caused by the sandoz chemical accident, 1986. *Interdisciplinary Science Reviews*, *17(2)*, 127-136. <https://doi.org/10.1179/isr.1992.17.2.127>
- Huff, K. E., Knaub, K. J., Connon, R. E., Whitley, G. W., & Lydy, M. J. (2024). Using an internal body residue approach to assess acute pesticide toxicity in juvenile Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *346*(January). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123364>
- Hurni, B. (1988). The Sandoz Accident. *Organic Micropollutants in the Aquatic Environment*, 128-129.
- Idhartono, A. R. (2020). Studi Literatur: Analisis Pembelajaran Daring Anak Berkebutuhan Khusus di Masa Pandemi. *Jurnal Studi Guru Dan Pembelajaran*, *3(3)*, 529-533. <https://doi.org/10.30605/jsgp.3.3.2020.541>
- IKSR. (2016). *The Rhine - 30 years after Sandoz*.
- Klein, O., Zimmermann, T., Hildebrandt, L., & Pröfrock, D. (2022). Technologycritical elements in Rhine sediments - A case study on occurrence and spatial distribution. *Science of the Total Environment*, *852*(April). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158464>
- National Institute of Environmental Health Sciences. (2024). *Pesticides*. <https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/pesticides>
- Oliveira Ribeiro, C. A., Vollaire, Y., Sanchez-Chardi, A., & Roche, H. (2005). Bioaccumulation and the effects of organochlorine pesticides, PAH and heavy metals in the Eel (*Anguilla anguilla*) at the Camargue Nature Reserve, France. *Aquatic Toxicology*, *74(1)*, 53 - 69. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2005.04.008>
- Oves, M., Khan, M. Z., & Ismail, I. M. I. (2017). Modern age environmental problems and their remediation. *Modern Age Environmental Problems and Their Remediation*, September, 1-237. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-64501-8>

- Pascale, A., & Laborde, A. (2020). Impact of pesticide exposure in childhood. *Reviews on Environmental Health*, 35(3), 221 – 227. <https://doi.org/10.1515/reveh-2020-0011>
- Peakall, D. B. (1989). *12 Ecotoxicological Considerations of Chemical Accidents. November 1986.*
- Plum, N., & Schulte-Wülwer-Leidig, A. (2014). From a sewer into a living river: the Rhine between Sandoz and Salmon. *Hydrobiologia*, 729(1), 95–106. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1433-1>
- Potter, E. C. E., & Dare, P. J. (2003). Research on migratory salmonids, eels and freshwater fish stocks and fisheries. *Fisheries (Bethesda)*, 119, 64.
- PPID Jember. (2023). *Pencemaran Sungai: Penyebab dan Solusinya*. P p i d . J e m b e r k a b . G o . I d . <https://ppid.jemberkab.go.id/berita/ppid/detail/pencemaran-sungai-penyebab-dan-solusinya>
- Schwabach, A. (1989). The Sandoz Spill: The Failure of International Law to Protect the Rhine from Pollution. *Ecology Law Quarterly*, 16(2), 443–480.
- Sullivan, R. (1998). Assessing the acceptability of environmental risk—a public policy perspective. *Australian Journal of Environmental Management*, 5(2), 72–80. <https://doi.org/10.1080/14486563.1998.10648403>
- Taufik, I. (2011). Pencemaran Pestisida Pada Perairan Perikanan. *Media Akuakultur*, 6(1), 69–75.
- Thundiyil, J. (2008). Acute pesticide poisoning: a proposed classification tool. *Bulletin of the World Health Organization*, 86(3), 205–209. <https://doi.org/10.2471/blt.08.041814>
- United States Environmental Protection Agency. (2024). *What Is Pesticide?* <https://www.epa.gov/minimum-risk-pesticides/what-pesticide>
- Villamayor-Tomas, S., Thiel, A., Fleischman, F. D., Ibarra, I. P., & van Laerhoven, F. (2014). From Sandoz to Salmon: Conceptualizing resource and institutional dynamics in the Rhine watershed through the SES framework. *International Journal of the Commons*, 8(2), 361–395. <https://doi.org/10.18352/ijc.411>