

BUKU AJAR **TOKSIKOLOGI LINGKUNGAN**



Penyusun
Tumartony Thaib Hiola, S.Pd, M.Kes
Bun Yamin M. Badjuka, S.Pd, M.Kes

ISBN 978-623-284-020-1



9 786232 840201

Buku Ajar
TOKSIKOLOGI LINGKUNGAN

Tumartony Thaib Hiola, S.Pd, M.Kes
Bun Yamin M. Badjuka, S.Pd, M.Kes

ISBN : 978-623-284-020-1



Universitas Negeri Gorontalo Press

Anggota IKAPI

Jl. Jend. Sudirman No.6 Telp. (0435) 821125
Kota Gorontalo

Website : www.ung.ac.id

Katalog Dalam Terbitan (KDT)

© Tumartony Thaib Hiola, S.Pd, M.Kes

Bun Yamin M. Badjuka, S.Pd, M.Kes

Buku Ajar

TOKSIKOLOGI LINGKUNGAN

ISBN : 978-623-284-020-1

Diterbitkan dan dicetak oleh : UNG Press Gorontalo

Cetakan Pertama : Desember 2020

PENERBIT UNG Press Gorontalo

Anggota IKAPI

Isi diluar tanggungjawab percetakan

© 2020

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi,
atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi
buku ini **tanpa izin tertulis** dari penerbit

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur kami panjatkan selalu kepada Tuhan Yang Maha Esa atas Rahmat, Taufiq, dan Hidayah yang sudah diberikan sehingga kami bisa menyelesaikan buku panduan yang berjudul “Buku ajar Toksikologi Lingkungan” dengan tepat waktu. Tujuan dari penulisan buku ini tidak lain adalah untuk membantu para mahasiswa di dalam memahami jenis-jenis toksisitas, dampak toksisitas dari lingkungan ke manusia, dan lain-lain..

Buku ini juga akan memberikan informasi secara lengkap mengenai berbagai macam kasus pencemaran logam berat yang bersifat toksik, baik dalam skala nasional, maupun dalam skala local di Provinsi Gorontalo

Kami sadar bahwa penulisan buku ini bukan merupakan buah hasil kerja keras kami sendiri. Ada banyak pihak yang sudah berjasa dalam membantu kami di dalam menyelesaikan buku ini, seperti pengambilan data, pemilihan contoh, dan lain-lain. Maka dari itu, kami mengucapkan banyak terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu memberikan wawasan dan bimbingan kepada kami sebelum maupun ketika menulis buku ajar ini.

Kami juga sadar bahwa buku yang kami buat masih tidak belum bisa dikatakan sempurna. Maka dari itu, kami meminta dukungan dan masukan dari para pembaca, agar kedepannya kami bisa lebih baik lagi di dalam menulis sebuah buku.

Gorontalo, 18 November 2020

Tim Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	ii
BAB I SEJARAH DAN PERKEMBANGAN TOKSIKOLOGI LINGKUNGAN.	1
A. Pengertian Toksikologi	1
B. Perkembangan Awal Toksikologi	2
C. Pengertian Toksikologi dan Racun	4
D. Perkembangan Mutahir Toksikologi.....	6
E. Prospek Masa Depan.....	10
F. Toksikologi Dalam Kaitan Pekerjaan Dan Lingkungan Kerja	11
G. Tipe Bahan Kimia Dan Bahan Beracun	13
DAFTAR PUSTAKA.....	15
BAB II KERJA DAN EFEK TOKSIK	16
A. Pendahuluan	16
B. Fase Eksposisi.....	17
C. Eksposisi melalui kulit.	19
D. Eksposisi melalui jalur inhalasi.....	21
E. Eksposisi melalui jalur saluran cerna.....	22
F. Fase Toksokinetik	23
DAFTAR PUSTAKA	24
BAB III KLASIFIKASI TOKSIKAN BERDASARKAN JENIS, SUMBER DAN DAYA RACUNNYA.....	25
A. Klasifikasi Toksin/Racun.....	25
B. Klasifikasi berdasarkan wujud	25
C. Klasifikasi atas dasar sifat fisika dan kimia	26
DAFTAR PUSTAKA	30

BAB III KONSEP DOSIS RESPON DALAM TOKSIKOLOGI	31
A. Hubungan Dosis Respon, Dosis -Kerja, Waktu Kerja	31
B. Hubungan Dosis Respon.....	33
C. Hubungan Dosis-Kerja.....	34
D. Hubungan Waktu-Kerja	39
DAFTAR PUSTAKA	Error! Bookmark not defined.
BAB IV SENYAWA PENCEMAR DI LINGKUNGAN BIOTIK DAN ABIOTIK	40
A. Pengertian pencemaran	40
B. Pengertian lingkungan.....	40
C. Pengertian lingkungan hidup	41
D. Pengertian Pencemaran Lingkungan.....	42
E. Jenis - jenis Pencemran Lingkungan.....	44
a. Pencemaran Udara	44
b. Pencemaran Air.....	47
DAFTAR PUSTAKA	52
B. PENGERTIAN TOKSISITAS.....	54
C. FAKTOR-FAKTOR TOKSISITAS	54
D. FAKTOR FISIKA-KIMIA BAHAN PENCEMAR KONSENTRASI BAHAN PENCEMAR.....	54
F. KADAR KEASAMAN.....	56
G. SALINITAS	58
H. KESADAHAN.....	58
I. FAKTOR BIOTIK	59
J. INTERAKSI BAHAN PENCEMAR.....	60
DAFTAR PUSTAKA	62
BAB V BERBAGAI BENTUK TOKSISITAS DI UDARA DAN PENYEBARANNYA	63
A. Pengertian Udara.....	63
B. Sumber Pencemaran Udara.....	64
C. Faktor – faktor yang mempengaruhi Pencemaran Udara.....	65
D. Jenis Pencemar Udara	67

E. Dampak Pencemaran Udara.....	68
F. Pengendalian Pencemaran Udara.....	69
DAFTAR PUSTAKA	71
BAB VII.....	72
PENGARUH TOKSISITAS DI UDARA.....	72
TERHADAP LINGKUNGAN	72
A. PENCEMARAN UDARA	72
C. ZAT-ZAT POLUTAN	73
D. DAMPAK PENCEMARAN UDARA.....	74
DAFTAR PUSTAKA	76
BAB VIII.....	77
KUALITAS UDARA AMBIEN DAN PEMERIKSAANNYA	77
A. Udara Ambien.....	77
B. Pemantauan Kualitas Udara Ambien	77
C. Sumber Pencemaran Udara.....	78
D. Baku Mutu Udara Ambien.....	78
BAB IX.....	80
KASUS KERACUNAN LOGAM BERAT	80
A. Kasus Logam Berat Global	80
B. Kasus Logam Berat di Indonesia.....	80
C. Kasus Logam Berat di Provinsi Gorontalo.....	81
DAFTAR PUSTAKA	83

BAB I

SEJARAH DAN PERKEMBANGAN TOKSIKOLOGI LINGKUNGAN

A. PENGERTIAN TOKSIKOLOGI

Toksikologi merupakan ilmu pengetahuan yang ada sejak zaman purbakala, yang merupakan perpaduan antara ilmu biologi dan ilmu kimia dan dapat digunakan untuk memahami konsep aksi dan keberadaan zat toksik serta penerapan konsep tersebut dalam permasalahan lingkungan. Secara tradisional toksikologi merupakan pengetahuan dasar tentang aksi dan perilaku racun. Sedangkan pengertian racun sendiri adalah bahan yang bila tertelan atau terabsorpsi akan mampu membuat manusia sakit dan mematikan (Mukono, 2010).

Toksikologi adalah studi mengenai efek - efek yang tidak diinginkan (*adverse effects*) dari zat - zat kimia terhadap organisme hidup. Gabungan antara berbagai efek potensial yang merugikan serta terdapatnya beraneka ragam bahan kimia di lingkungan kita membuat toksikologi sebagai ilmu yang sangat luas (Kusnoputranto, 1996). Selanjutnya juga dinyatakan bahwa toksikologi lingkungan umumnya merupakan suatu studi tentang efek dari polutan terhadap lingkungan hidup serta bagaimana hal ini dapat mempengaruhi ekosistem. Dengan demikian pembahasan mengenai toksikologi lingkungan merupakan bahasan yang sangat kompleks.

Semua zat beracun ataupun metabolitnya tentu akan kembali memasuki lingkungan, sehingga kualitas lingkungan akhirnya bertambah buruk dengan terdapatnya berbagai racun. Dapat dipahami bahwa, baik racun maupun kontaminan lingkungan dengan zat berbahaya bukanlah hal yang baru. Sejak beberapa puluh tahun yang lalu, duniapun sudah sepakat bekerja sama untuk membuat lingkungan menjadi tempat yang tidak berbahaya untuk dihuni.

Perhatian dunia terhadap toksikologi lingkungan didasarkan atas hasil inventarisasi ataupun perkiraan jumlah produksi zat kimia yang semakin meningkat. Butler mengemukakan, pada tahun 1978 saja diperkirakan terdapat 300.000 zat kimia yang digunakan di seluruh dunia dan jumlah ini diperkirakan bertambah setiap tahun dengan 1.000 – 2.000 jenis (Soemirat, 2009).

Melalui Pengantar Toksikologi ini, diharapkan mempermudah mahasiswa dalam mengenal :

1. Sejarah dan perkembangan toksikologi
2. Konsep dasar racun
3. Sistem pertahanan pada manusia
4. Toksikologi lingkungan.

B. Perkembangan Awal Toksikologi

Sejak perkembangan peradaban manusia dalam mencari makanan, tentu telah mencoba beragam bahan baik botani, nabati, maupun dari mineral. Melalui pengalamannya ini ia mengenal makanan, yang aman dan berbaya. Dalam konteks ini kata makanan dikonotasikan ke dalam bahan yang aman bagi tubuhnya jika disantap, bermanfaat serta diperlukan oleh tubuh agar dapat hidup atau menjalankan fungsinya. Sedangkan kata racun merupakan istilah yang digunakan untuk menjelaskan dan menggambarkan berbagai bahan "zat kimia" yang dengan jelas berbahaya bagi badan.

Kata racun "*toxic*" adalah bersasal dari bahasa Yunani, yaitu dari akar kata *tox*, dimana dalam bahasa Yunani berarti panah. Dimana panah pada saat itu digunakan sebagai senjata dalam peperangan, yang selalu pada anak panahnya terdapat racun. Di dalam "*Papyrus Ebers* (1552 B.C.)" orang Mesir kuno memuat informasi lengkap tentang pengobatan dan obat. Di Papyrus ini juga memuat ramuan untuk racun, seperti antimon (Sb), tembaga, timbal, hiosiamus, opium, terpineol, dan verdigris (kerak hijau pada permukaan tembaga). Sedangkan di India (500 - 600 B.C.) di dalam *Charaka Samhita* disebutkan, bahwa tembaga, besi, emas, timbal, perak, seng, bersifat sebagai racun, dan di dalam Susruta Samhita banyak menulis racun dari makanan, tanaman, hewan, dan penangkal racun gigitan ular.

Hippocrates (460-370 B.C.), dikenal sebagai bapak kedokteran, disamping itu dia juga dikenal sebagai toksikolog di zamannya. Dia banyak menulis racun bisa ular dan di dalam bukunya juga menggambarkan, bahwa orang Mesir kuno telah memiliki pengetahuan penangkal racun, yaitu dengan menghambat laju penyerapan racun dari saluran pencernaan. Disamping banyak lagi nama

besar toksikolog pada jaman ini, terdapat satu nama yang perlu mendapat catatan disini, yaitu besar pada jaman Mesir dan Romawi kuno adalah Pedacius Dioscorides (A.D. 50), dikenal sebagai bapak Materia Medika, adalah seorang dokter tentara. Di dalam bukunya dia mengelompokkan racun dari tanaman, hewan, dan mineral.

Hal ini membuktikan, bahwa efek berbahaya (toksik) yang ditimbulkan oleh zat racun (tokson) telah dikenal oleh manusia sejak awal perkembangan peradaban manusia. Oleh manusia efek toksik ini banyak dimanfaatkan untuk tujuan seperti membunuh atau bunuh diri. Untuk mencegah keracunan, orang senantiasa berusaha menemukan dan mengembangkan upaya pencegahan atau menawarkan racun. Usaha ini seiring dengan perkembangan toksikologi itu sendiri. Namun, evaluasi yang lebih kritis terhadap usaha ini baru dimulai oleh Maimonides (1135 - 1204) dalam bukunya yang terkenal Racun dan Andotumnya.

Sumbangan yang lebih penting bagi kemajuan toksikologi terjadi dalam abad ke-16 dan sesudahnya. Paracelcius adalah nama samaran dari Philippus Aureolus Theophrastus Bombast von Hohenheim (1493-1541), toksikolog besar, yang pertama kali meletakkan konsep dasar dari toksikologi. Dalam postulatnya menyatakan: "Semua zat adalah racun dan tidak ada zat yang tidak beracun, hanya dosis yang membuatnya menjadi tidak beracun". Pernyataan ini menjadi dasar bagi konsep hubungan dosis reseptor dan indeks terapi yang berkembang dikemudian hari.

Matthieu Joseph Bonaventura Orfila dikenal sebagai bapak toksikologi modern. Ia adalah orang Spanyol yang terlahir di pulau Minorca, yang hidup antara tahun 1787 sampai tahun 1853. Pada awal karirnya ia mempelajari kimia dan matematika, dan selanjutnya mempelajari ilmu kedokteran di Paris. Dalam tulisannya (1814- 1815) mengembangkan hubungan sistematis antara suatu informasi kimia dan biologi tentang racun. Dia adalah orang pertama, yang menjelaskan nilai pentingnya analisis kimia guna membuktikan bahwa simptomatologi yang ada berkaitan dengan adanya zat kimia tertentu di dalam badan. Orfila juga merancang berbagai metode untuk mendeteksi racun dan

menunjukkan pentingnya analisis kimia sebagai bukti hukum pada kasus kematian akibat keracunan. Orfila bekerja sebagai ahli *medikolegal* di Sorbonne di Paris. Orfila memainkan peranan penting pada kasus *LaFarge* (kasus pembunuhan dengan arsen) di Paris, dengan metode analisis arsen, ia membuktikan kematian diakibatkan oleh keracunan arsen.

M.J.B. Orfila dikenal sebagai bapak toksikologi modern karena minatnya terpusat pada efek toksik, selain itu karena ia memperkenalkan metodologi kuantitatif ke dalam studi aksi toksik pada hewan, pendekatan ini melahirkan suatu bidang toksikologi modern, yaitu toksikologi forensik. Dalam bukunya *Traite des poison*, terbit pada tahun 1814, dia membagi racun menjadi enam kelompok, yaitu: *corrosives*, *astringents*, *acrids*, *stupefying or narcotic*, *narcoticacid*, dan *septica* atau *putreficants*.

C. Pengertian Toksikologi dan Racun

Secara sederhana dan ringkas, toksikologi dapat didefinisikan sebagai kajian tentang hakikat dan mekanisme efek berbahaya (efek toksik) berbagai bahan kimia terhadap makhluk hidup dan sistem biologik lainnya. Ia dapat juga membahas penilaian kuantitatif tentang berat dan kekerapan efek tersebut sehubungan dengan terpejannya (*exposed*) makhluk tadi.

Apabila zat kimia dikatakan beracun (toksik), maka kebanyakan diartikan sebagai zat yang berpotensi memberikan efek berbahaya terhadap mekanisme biologi tertentu pada suatu organisme. Sifat toksik dari suatu senyawa ditentukan oleh: dosis, konsentrasi racun di reseptor “tempat kerja”, sifat zat tersebut, kondisi bioorganisme atau sistem bioorganisme, paparan terhadap organisme dan bentuk efek yang ditimbulkan. Sehingga apabila menggunakan istilah toksik atau toksisitas, maka perlu untuk mengidentifikasi mekanisme biologi di mana efek berbahaya itu timbul. Sedangkan toksisitas merupakan sifat relatif dari suatu zat kimia, dalam kemampuannya menimbulkan efek berbahaya atau penyimpangan mekanisme biologi pada suatu organisme.

Toksisitas merupakan istilah relatif yang biasa dipergunakan dalam memperbandingkan satu zat kimia dengan lainnya. Adalah biasa untuk

mengatakan bahwa satu zat kimia lebih toksik daripada zat kimia lain. Perbandingan sangat kurang informatif, kecuali jika pernyataan tersebut melibatkan informasi tentang mekanisme biologi yang sedang dipermasalahkan dan juga dalam kondisi bagaimana zat kimia tersebut berbahaya. Oleh sebab itu, pendekatan toksikologi seharusnya dari sudut telaah tentang berbagai efek zat kimia atas berbagai sistem biologi, dengan penekanan pada mekanisme efek berbahaya zat kimia itu dan berbagai kondisi di mana efek berbahaya itu terjadi.

Pada umumnya efek berbahaya / efek farmakologik timbul apabila terjadi interaksi antara zat kimia (tokson atau zat aktif biologis) dengan reseptor. Terdapat dua aspek yang harus diperhatikan dalam mempelajari interaksi antara zat kimia dengan organisme hidup, yaitu kerja farmakon pada suatu organisme (aspek farmakodinamik / toksodinamik) dan pengaruh organisme terhadap zat aktif (aspek farmakokinetik / toksokinetik) aspek ini akan lebih detail dibahas pada sub bahasan kerja toksik.

Telah dipostulatkan oleh Paracelcius, bahwa sifat toksik suatu tokson sangat ditentukan oleh dosis (konsentrasi tokson pada reseptornya). Artinya kehadiran suatu zat yang berpotensi toksik di dalam suatu organisme belum tentu menghasilkan juga keracunan. Misal insektisida rumah tangga (DDT) dalam dosis tertentu tidak akan menimbulkan efek yang berbahaya bagi manusia, namun pada dosis tersebut memberikan efek yang mematikan bagi serangga. Hal ini disebabkan karena konsentrasi tersebut berada jauh dibawah konsentrasi minimal efek pada manusia. Namun sebaliknya apabila kita terpejan oleh DDT dalam waktu yang relatif lama, dimana telah diketahui bahwa sifat DDT yang sangat sukar terurai dilingkungan dan sangat lipofil, akan terjadi penyerapan DDT dari lingkungan ke dalam tubuh dalam waktu relatif lama. Karena sifat fisiko kimia dari DDT, mengakibatkan DDT akan terakumulasi (tertimbun) dalam waktu yang lama di jaringan lemak. Sehingga apabila batas konsentrasi toksiknya terlampaui, barulah akan muncul efek toksik. Efek atau kerja toksik seperti ini lebih dikenal dengan efek toksik yang bersifat kronis.

Toksin Clostridium botulinum, adalah salah satu contoh toksin, dimana dalam konsentrasi yang sangat rendah (10^{-9} mg/kg berat badan), sudah dapat mengakibatkan efek kematian. Berbeda dengan metanol, baru bekerja toksik pada dosis yang melebihi 10 g. Pengobatan parasetamol yang direkomendasikan dalam satu periode 24 jam adalah 4 g untuk orang dewasa dan 90 mg/kg untuk anak-anak. Namun pada penggunaan lebih dari 7 g pada orang dewasa dan 150 mg/kg pada anak-anak akan menimbulkan efek toksik. Dengan demikian, resiko keracunan tidak hanya tergantung pada sifat zatnya sendiri, tetapi juga pada kemungkinan untuk berkontak dengannya dan pada jumlah yang masuk dan diabsorpsi. Dengan lain kata tergantung dengan cara kerja, frekuensi kerja dan waktu kerja. Antara kerja (atau mekanisme kerja) sesuatu obat dan sesuatu toksin tidak terdapat perbedaan yang prinsipil, ia hanya relatif. Semua kerja dari suatu obat yang tidak mempunyai sangkut paut dengan indikasi obat yang sebenarnya, dapat dinyatakan sebagai kerja toksik.

D. Perkembangan Mutahir Toksikologi

Dalam perkembangan peradaban modern, masyarakat menuntut perbaikan kondisi kesehatan dan kehidupan, diantaranya makanan bergizi, mutu kesehatan yang tinggi, pakaian, dan sportasi. Untuk memenuhi tujuan ini, berbagai jenis bahan kimia harus diproduksi dan digunakan, banyak diantaranya dalam jumlah besar. Diperkirakan berribu-ribu bahan kimia telah diproduksi secara komersial baik di negara-negara industri maupun di negara berkembang. Melalui berbagai cara bahan kimia ini kontak dengan penduduk, dari terlibatnya manusia pada proses produksi, distribusi ke konsumen, hingga terakhir pada tingkat pemakai.

Meningkatnya jumlah penduduk dunia menuntut, salah satunya meningkatnya jumlah produksi pangan. Dalam hal ini diperlukan bahan kimia, seperti pupuk, pestisida, dan rebisida. Tidak jarang pemakaian pestisida yang tidak sesuai dengan aturan, atau berlebih justru memberi beban pencemaran terhadap lingkungan, perubahan ekosistem, karena pembasmian pada salah satu invertebrata akan berefek pada rantai makanan dari organisme tersebut,

sehingga dapat juga mengakibatkan berkurangnya atau bahkan musnahnya predator insek tersebut. Pemakaian pestisida, telah ditengarai mengakibatkan mutasi genetika dari insektisida tersebut, sehingga pada akhirnya melahirkan mutan insek yang justru resisten terhadap pestisida jenis tertentu. Pemakaian pestisida yang tidak benar juga merupakan salah satu penginduksi toksisitas kronik (menahun). Petani berkeinginan mendapatkan keuntungan yang tinggi dari hasil pertaniannya, tidak jarang penyemprotan pestisida berlebih justru dilakukan pada produk pertanian satu-dua hari sebelum panen, dengan tujuan buah atau daun sayuran tidak termakan insek sebelum panen, dengan jalan demikian akan diperoleh buah atau sayuran yang ranun, tidak termakan oleh insek. Namun tindakan ini justru membahayakan konsumen, karena pestisida kemungkinan dapat terakumulasi secara perlahan di dalam tubuh konsumen, melalui konsumsi buah atau sayuran yang sebelumnya diberikan pestisida sebelum panen.

Banyaknya kasus keracunan masif akut dan keracunan kronis, yang diakibatkan oleh pencemaran lingkungan akibat proses produksi. Seperti pada tahun 1930 di Detroit, Mich. kontaminasi ginger jake oleh Tri-o-kresil, mengakibatkan neurotoksis, telah mengakibatkan keracunan syaraf pada 16 ribu penduduk.

Di London, pada tahun 1952, terjadi peningkatan jumlah kematian penduduk akibat penyakit jantung dan paru-paru. Hal ini disebabkan oleh kontaminasi udara oleh belerang dioksida dan partikel tersuspensi, yang merupakan limbah buangan pabrik di Inggris pada saat itu.

Penyakit Minamata di Jepang pada tahun 1950-an diakibatkan karena pembuangan limbah industri yang mengandung metil merkuri ke teluk Minamata, yang mengakibatkan ikan di teluk tersebut terkontaminasi oleh metil merkuri. Ikan terkontaminasi ini dikonsumsi oleh penduduk disekitar teluk, mengakibatkan deposisi (pengendapan) metil merkuri di dalam tubuh. Metil merkuri adalah senyawa toksik yang mengakibatkan penyakit neurologik berat, salah satunya mengakibatkan kebutaan.

Pada akhir 1950-an sampai awal tahun 1960-an, di Eropa Barat terjadi kasus keracunan yang dikenal dengan kasus Talidomid. Talidomid adalah senyawa kimia yang pertama disintesa untuk obat menekan rasa mual dan muntah. Karena efeknya tersebut pada waktu itu banyak diresepkan pada ibu-ibu hamil, dengan tujuan menekan mual-muntah yang sering muncul masa trimester pertama pada kehamilan. Efek samping yang muncul dari pemakaian ini adalah terlahir janin dengan pertumbuhan organ tubuh yang tidak lengkap, belakangan diketahui bahwa salah satu dari bentuk rasemat Talidomid ini memberikan efek menghambat pertumbuhan organ tubuh pada janin di masa kandungan.

Salah satu contoh, kasus pencemaran lingkungan di Indonesia akibat proses produksi adalah kasus teluk Buyat. Sampai saat ini masih kontroversial didiskusikan.

Kejadian-kejadian di atas dan peristiwa tragis keracunan masif lainnya telah menghasilkan program pengujian yang lebih intensif, yang telah mengungkapkan beragamnya sifat dan sasaran efek toksik. Pada gilirannya ini menuntut lebih banyak penelitian pada hewan, lebih banyak indikator toksisitas, persyaratan yang lebih ketat sebelum suatu bahan kimia baru dapat dilepas pemakaiannya ke masyarakat, serta melakukan evaluasi dan pemantauan efek toksik senyawa kimia yang telah beredar dan dimanfaatkan oleh masyarakat. Oleh karena itu, ada kebutuhan untuk mempermudah tugas penilaian toksikologik atas begitu banyak bahan kimia, dimana prosedur pengujian toksisitasnya menjadi semakin komplek. Untuk memenuhi kebutuhan ini, beberapa kriteria telah diajukan dan dipakai untuk memilih menurut prioritasnya bahan kimia yang akan diuji. Disamping itu, "sistem penilaian berlapis" memungkinkan keputusan dibuat pada berbagai tahap pengujian toksikologik, sehingga dapat dihindarkan penelitian yang tidak perlu. Prosedur ini sangat berguna dalam pengujian karsinogenisitas, mutagenisitas, dan imunotoksitas karena besarnya biaya yang terlibat dan banyaknya sistem uji yang tersedia.

Karena banyaknya orang yang terpejan dengan bahan-bahan kimia ini, maka kita harus berupaya mencari pengendalian yang tepat sebelum terjadi kerusakan yang hebat. Karena itu, bila mungkin, ahli toksikologi modern harus mencoba mengidentifikasi berbagai indikator pejanan dan tanda efeknya terhadap kesehatan yang dini dan reversibel. Hal ini penting untuk menentukan ketentuan keputusan, pada saat yang tepat untuk melindungi kesehatan masyarakat baik sebagai individu yang bekerja maupun masyarakat yang terpejan. Pencapaian di bidang ini telah terbukti dapat membantu para mengambil keputusan (pemerintah) yang bertanggungjawab dalam menjalankan surveilan medik yang sesuai pada pekerja atau masyarakat yang terpejan. Contoh yang menonjol adalah penggunaan penghambat kolinesterase sebagai indikator pejanan pestisida organofosfat dan berbagai parameter biokimia untuk memantau pejanan timbal. Menggunakan indikator biologi seperti jenis ikan tertentu untuk memantau tingkat cemaran limbah cair industri sebelum dinyatakan aman untuk dilepaskan ke lingkungan. "Petanda biologik" semacam itu dimaksudkan untuk mengukur pejanan terhadap toksin atau efeknya di samping untuk mendeteksi kelompok masyarakat yang rentan.

Kemajuan yang dicapai dalam bidang biokimia dan toksikokinetik, toksikologi genetika, imunotoksikologi, morfologi pada tingkat subsel, serta perkembangan ilmu biologimolekular berperan dalam memberikan pengertian yang lebih baik tentang sifat, tempat, dan cara kerja berbagai toksin. Misalnya perkembangan bidang ilmu tersebut dapat memberikan berbagai metode uji toksikologi secara *invitro*, dimana target uji langsung pada tingkat sel, seperti uji senyawa yang mengakibatkan kerusakan sel hati "*hepatotoksik*" dapat dilakukan langsung pada kultur sel hati secara *invitro*, atau uji toksin yang mempunyai sifat sebagai karsinogen juga dapat dilakukan pada kultur sel normal, disini dilihat tingkat pertumbuhan sel dan perubahan DNA "asam dioksiribonukleat" yang dialamai oleh sel akibat pejanan toksin uji. Banyak lagi metode uji *invitro* yang sangat bermanfaat dalam menunjang perkembangan ilmu toksikologi itu sendiri.

Salah satu wujud perlindungan kesehatan masyarakat, ahli toksikologi akan selalu terlibat dalam menentukan batas pejanan yang aman atau penilaian resiko dari pejanan. Batas pejanan yang aman mencakup "asupan (intake) harian yang diperbolehkan, dan "nilai ambang batas" dari toksin yang masih dapat ditolerir, sedangkan penilaian resiko digunakan dalam hubungan dengan efek bahan yang diketahui tidak berrang batas atau ambang batasnya tak dapat ditentukan. Penentuan ini merupakan penelitian menyeluruh tentang sifat toksik, pembuktian dosis yang aman, penentuan hubungan dosis-efek dan dosis-respon, serta penelitian toksokinetik, dan biotransformasi.

Meluasnya bidang cakupan dan makin banyaknya subdisiplin toksikologi seperti digambarkan di atas memberikan gambaran tersendiri tentang kemajuan akhir dalam toksikologi.

E. Prospek Masa Depan

Kemajuan di bidang bioteknologi pertanian, telah terbukti memberikan berbagai kemajuan jika dibandingkan pertanian konvensional. Melalui rekayasa genetika pada tanaman pertanian telah terbukti diperoleh bibit unggul, yang dibandingkan dengan pertanian konvensional sangat sedikit membutuhkan tanah, merupakan andalan dalam meningkatkan pasokan makanan kita. Keamanan makanan semacam ini membutuhkan evaluasi keamanan yang memadai.

Bersama dengan ilmu-ilmu lain, toksikologi dapat menyediakan bahan kimia alternatif yang lebih aman untuk pertanian, industri, dan kebutuhan konsumen melalui penentuan hubungan struktur- toksisitas. Pengurangan sifat toksik mungkin dapat dicapai dengan mengubah toksisitas sasaran atau dengan mengubah sifat toksokinetiknya. Toksikologi juga berperan dalam pengembangan obat baru, sudah menjadi prasyarat dalam pengembangan obat baru harus dibarengi baik uji toksisitas akut maupun toksisitas kronis, dengan persyaratan uji yang ketat. Penilaian tentang keamanannya merupakan tantangan dan tanggung jawab toksikologi.

Karena imbauan masyarakat untuk mengurangi penggunaan hewan coba dengan alasan prikemanusiaan, maka lebih sering digunakan organ terisolasi, jaringan biakan, sel, dan bentuk- bentuk kehidupan yang lebih rendah. Sistem ini memiliki banyak keuntungan, seperti pengujian yang lebih cepat dan lebih murah, meningkatkan keragaman penelitian terutamanya yang berkaitan dengan mekanisme keracunan. Dengan meningkatnya tuntutan ini akan mendorong perbaikan prosedur pengujian yang lebih sederhana dan handal, seperti misal pengujian karsinogen “uji kanker”, uji mutagenesis, menggunakan “petanda biologik” (*biomarker*) yaitu kultur sel kanker.

Mingkatnya kebutuhan akan uji toksikologik, namun pada kenyataannya terdapat keterbatasan akan fasilitas dan sumber daya manusia yang memenuhi syarat, oleh sebab itu maka data toksisitas yang dihasilkan dimana saja sebaiknya dapat diterima secara international. Agar data- data tersebut dapat diterima secara umum, maka data tersebut harus memenuhi standar tertentu. Untuk itu lembaga terkemuka dunia mengeluarkan standar seperti yang dikeluarkan oleh Lembaga pengawas obat dan makanan Amerika (FDA) mengeluarkan “*Good Laboratory Practice*” , dimana standar ini dapat diterima secara international.

Pada akhirnya, ahli toksikologi harus terus memperbaiki prosedur uji untuk mengurangi hasil positif palsu dan negatif palsu, dan terus melakukan penelitian yang dirancang untuk meningkatkan pemahaman yang lebih baik akan pentingnya efek toksik sehingga penilaian keamanan / resiko berbagai toksion dapat dilakukan dengan hasil lebih memuaskan.

F. Toksikologi Dalam Kaitan Pekerjaan Dan Lingkungan Kerja

Toksikologi industri adalah ilmu tentang racun yang dipakai, diolah, diproses, dan dihasilkan dalam industri. Tujuan dari berkembangnya toksikologi industri adalah perlindungan konsumen dan masyarakat pada umumnya dari penggunaan zat beracun. Spesialisasi penanganan masalah efek buruk zat kimia dalam kaitan pekerjaan dan lingkungan kerja adalah toksikologi hiperkes atau toksikologi kerja (*okupasi*). Hiperkes adalah ilmu

dan praktek yang bertujuan mewujudkan tenaga kerja yang sehat dan produktif dengan:

- a. Upaya kesehatan promotif, preventif, kuratif, dan rehabilitative (hiperkes medis)
- b. Perlindungan tenaga kerja atas pengaruh buruk pekerjaan dan lingkungan kerja terhadap keselamatan dan kesehatan kerja (hiperkes teknis)
- c. Penyesuaian / kecocokan antara tenaga kerja dan pekerjaannya (hiperkes ergonomis)

Pengenalan Bahaya Bahan Kimia

- a. Survei Pendahuluan Untuk mengenal atau mengidentifikasi bahan kimia yang terdapat di industri dan merencanakan program evaluasi risiko bahaya serta tindak lanjutnya (nama bahan baku dan bahan sampingan, jenis bahan yang diperkirakan beracun, identifikasi penggunaannya, jumlah pekerja yang terpajan, cara pengendaliannya, dsb).
- b. Mengetahui Proses Produksi Dengan mempelajari alur proses mulai dari tahap awal sampai tahap akhir, sumber bahan kimia dan keluhan kesehatan oleh pekerja, serta memanfaatkan indera kita untuk mengidentifikasi lingkungan kerja (mengenal bau yang timbul, merasa perih di mata, angasan batuk, dsb). Informasi ini dari kepala supervisor atau pekerja juga sangat diperlukan.
- c. Mempelajari MSDS (Material Safety Data Sheet) Suatu dokumen teknik yang memberikan informasi tentang komposisi, karakteristik, bahaya fisik dan potensi bahaya kesehatan, cara penanganan dan menyimpan bahan yang aman, tindakan pertolongan pertama dan prosedur khusus lainnya. Label pada kemasan bahan kimia perlu dicatat juga

Bahan - Bahan Kimia dan Beracun serta Pengaruhnya

Suatu bahan kimia akan menjadi toksik bila bahan tersebut mencapai jaringan target dan terakumulasi dalam konsentrasi tertentu. Bahan kimia memiliki tingkat bahaya terhadap kesehatan yang terasa dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Derajat bahan kimia tergantung pada :

- a. Sifat fisika

- b. Toksisitas
- c. Bagaimana penggunaan bahan kimia tersebut
- d. Lingkungannya

G. JENIS TOKSISITAS

Sementara itu, jenis toksisitas sendiri terbagi menjadi :

- a. Gas: tidak berbentuk, mengisi ruangan pada suhu dan tekanan normal, tidak berbau pada konsentrasi rendah, dan dapat berubah menjadi cair atau padat dengan adanya perubahan suhu dan tekanan.
- b. Uap: bentuk gas dari zat yang dalam keadaan biasa berwujud cair.
- c. Debu: partikel zat padat yang terjadi karena kekuatan alami.
- d. Kabut: titik cairan halus di udara yang terjadi akibat kondensasi bentuk uap.
- e. Fume: partikel zat padat yang terjadi oleh kondensasi bentuk gas, biasanya setelah penguapan benda padat yang dipijarkan.
- f. Awan: partikel cair sebagai hasil kondensasi fase gas. Ukuran partikelnya antara 0,1 - 1 mikron.
- g. Asap: partikel zat karbon yang berukuran kurang dari 0,5 mikron sebagai akibat pembakaran tidak sempurna bahan yang mengandung karbon.

G. TIPE BAHAN KIMIA DAN BAHAN BERACUN

Terhadap tubuh, bahan - bahan kimia dapat digolongkan antara lain :

1. Zat kimia yang wujudnya partikel dan berada di udara tempat kerja dapat digolongkan menurut

Efeknya terhadap kesehatan sebagai berikut:

- a. Perangsang, misalnya debu kapas, debu sabun, bubuk beras, dan lain - lain.
- b. Toksis, misalnya partikel - partikel Pb, As, Mn, dan lain - lain.
- c. Menyebabkan fibrosis jaringan paru, misalnya debu kuarsa dan asbes.
- d. Menyebabkan alergi, misalnya tepung sari, debu kapas, dan lain - lain.
- e. Menimbulkan demam, misalnya fume, ZnO, dan lain - lain.
- f. Inert, misalnya alumunium, kapur, dan lain – lain.

2. Adapun zat yang tidak berbentuk partikel, yaitu gas dan uap, digolongkan menurut efeknya terhadap kesehatan sebagai berikut:
 - a. Asfiksian, misalnya gas metana (CH_4), CO_2 , helium, dan lain - lain.
 - b. Perangsang, misalnya amoniak, HCl , H_2S , dan lain - lain.
 - c. Racun - racun anorganis atau organis, misalnya AsH_3 , TEL, nikelkarbonil, dan lain - lain.
 - d. Zat kimia mudah menguap yang dibagi menurut pengaruhnya kepada manusia, sebagai berikut:
 - 1) Berefek anestesi, misalnya trikloretilin.
 - 2) Merusak organ dalam tubuh, misalnya CCl_4 .
 - 3) Merusak susunan darah, misalnya benzen.
 - 4) Merusak susunan saraf, misalnya paration.

Toksikologi dalam kaitan pekerjaan dan lingkungan kerja mengelompokkan racun pada tiga kelompok, yaitu:

1. Zat kimia industri, meliputi:
 - a. Persenyawaan nitrogen
 - b. Persenyawaan halogen hidrokarbon
 - c. Alkohol dan glikol
 - d. Ester, aldehida dan eter
 - e. Hidrokarbon
 - f. Zat korosif
 - g. Logam beracun
 - h. Sianida, sulfida, dan karbon monoksida
 - i. Partikel dalam udara
2. Zat kimia pertanian, meliputi:
 - a. Pestisida halogen
 - b. Pestisida inhibitor kolinesterase
 - c. Pestisida lainnya
3. Racun hewan dan tumbuhan, meliputi reptil, laba - laba, dan serangga, hewan/binatang laut serta tumbuhan beracun.

Soal Latihan:

1. *Buatlah uraian singkat perkembangan ilmu toksikologi sampai menjadi suatu ilmu modern.*
2. *Siapa yang pertama kali meletakkan konsep dasar pada bidang toksikologi, dimana konsep tersebut sampai saat ini masih relapan dan mendasari teori hubungan toksin dan reseptor, jelaskan hubungan konsep tersebut dengan hubungan dosis, reseptor dan efek?*
3. *Siapa yang meletakkan nilai penting analisis kimia dalam ilmu toksikologi?*
4. *Sebutkan tantangan masa depan ahli toksikologi!*

DAFTAR PUSTAKA

1. Ariens,E.J., Mutschler,E., Simonis,A.M.,1985, Toksikologi Umum, Pengantar, Wattimena,Y.R.(terj.), Gadjah Mada University Press,Yogyakarta.
2. Hardman J.G., Goodman Gilman, A., Limbird, L.E., 1996, Goodman & Gilman's, The pharmacological Basis of Therapeutics, 9th edn, Mc Graw-Hill, New York
3. Ling, L.J., 2000, Toxikology Secrets, Hanley & Belfus, Inc. Philadelphia
4. Loomis, T.A., 1978, Toksikologi Dasar, Donatus, A. (terj.) IKIP Semarang Press, Semarang
5. Lu, F.C., 1995, Toksikologi Dasar, Asas, Organ Sasaran, dan Penilaian Resiko, Nugroho, E. (terj.), UI Press, Jakarta
6. Nasruddin, at al. 2019. Toksikologi Industri. Universitas halu oleo kendari.

BAB II

KERJA DAN EFEK TOKSIK

A. PENDAHULUAN

Suatu kerja toksik pada umumnya merupakan hasil dari sederetan proses fisika, biokimia, dan biologik yang sangat rumit dan kompleks. Proses ini umumnya dikelompokkan ke dalam tiga fase yaitu: fase eksposisi toksokinetik dan fase toksodinamik. Dalam menelaah interaksi *xenobiotika*/tokson dengan organisme hidup terdapat dua aspek yang perlu diperhatikan, yaitu: kerja *xenobiotika* pada organisme dan pengaruh organisme terhadap *xenobiotika*. Yang dimaksud dengan kerja tokson pada organisme adalah sebagai suatu senyawa kimia yang aktif secara biologik pada organisme tersebut (aspek toksodinamik). Sedangkan reaksi organisme terhadap *xenobiotika*/tokson umumnya dikenal dengan fase toksokinetik.

Fase eksposisi merupakan kontak suatu organisme dengan *xenobiotika*, pada umumnya, kecuali radioaktif, hanya dapat terjadi efek toksik/ farmakologi setelah *xenobiotika* terabsorpsi. Umumnya hanya tokson yang berada dalam bentuk terlarut, terdispersi molekular dapat terabsorpsi menuju sistem sistemik. Dalam konteks pembahasan efek obat, fase ini umumnya dikenal dengan fase farmaseutika. Fase farmaseutika meliputi hancurnya bentuk sediaan obat, kemudian zat aktif melarut, terdispersi molekular di tempat kontakannya. Sehingga zat aktif berada dalam keadaan siap terabsorpsi menuju sistem sistemik. Fase ini sangat ditentukan oleh faktor-faktor farmseutika dari sediaan farmasi.

Fase toksikinetik disebut juga dengan fase farmakokinetik. Setelah *xenobiotika* berada dalam ketersediaan farmasetika, pada mana keadaan *xenobiotika* siap untuk diabsorpsi menuju aliran darah atau pembuluh *limfe*, maka *xenobiotika* tersebut akan bersama aliran darah atau limfe didistribusikan ke seluruh tubuh dan ke tempat kerja toksik (reseptor). Pada saat yang bersamaan sebagian molekul

xenobiotika akan termetabolisme, atau tereksresi bersama urin melalui ginjal, melalui empedu menuju saluran cerna, atau sistem eksresi lainnya.

Fase toksodinamik adalah interaksi antara toksin dengan reseptor (tempat kerja toksik) dan juga proses-proses yang terkait dimana pada akhirnya muncul efek toksik/farmakologik. Interaksi toksin-reseptor umumnya merupakan interaksi yang bolak-balik (reversibel). Hal ini mengakibatkan perubahan fungsional, yang lazim hilang, bila *xenobiotika* tereliminasi dari tempat kerjanya (reseptor).

Selain interaksi reversibel, terkadang terjadi pula interaksi tak bolak-balik (irreversibel) antara *xenobiotika* dengan substrat biologik. Interaksi ini didasari oleh interaksi kimia antara *xenobiotika* dengan substrat biologi dimana terjadi ikatan kimia kovalen yang bersifat irreversibel atau berdasarkan perubahan kimia dari substrat biologi akibat dari suatu perubahan kimia dari *xenobiotika*, seperti pembentukan peroksida. Terbentuknya peroksida ini mengakibatkan luka kimia pada substrat biologi.

Dari gambaran singkat di atas dapat digambarkan dengan jelas bahwa efek toksik / farmakologik suatu *xenobiotika* tidak hanya ditentukan oleh sifat toksokinetik *xenobiotika*, tetapi juga tergantung kepada faktor yang lain seperti:

- a) bentuk farmasetika dan bahan tambahan yang digunakan,
- b) jenis dan tempat eksposisi,
- c) keterabsorpsian dan kecepatan absorpsi,
- d) distribusi *xenobiotika* dalam organisme,
- e) ikatan dan lokalisasi dalam jaringan,
- f) biotransformasi (proses metabolisme), dan
- g) keterekskresian dan kecepatan ekskresi, dimana semua faktor di atas dapat dirangkum ke dalam parameter farmaseutika dan toksokinetika (farmakokinetika).

B. FASE EKSPOSISI

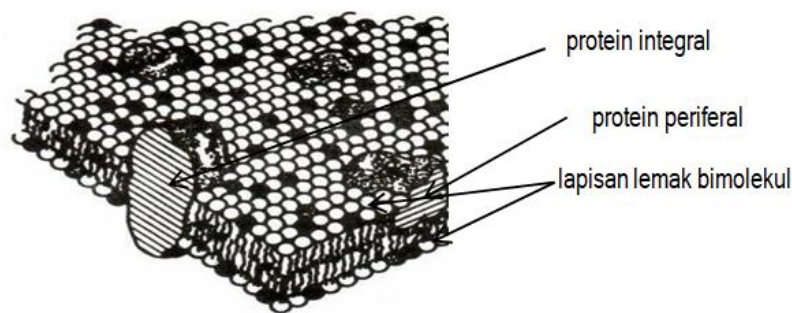
Dalam fase ini terjadi kontak antara *xenobiotika* dengan organisme atau dengan lain kata, terjadi paparan *xenobiotika* pada organisme. Paparan ini dapat terjadi melalui kulit, oral, saluran pernafasan (inhalasi) atau penyampaian *xenobiotika* langsung ke dalam tubuh organisme (injeksi).

Jika suatu objek biologik terpapar oleh sesuatu *xenobiotika*, maka, kecuali senyawa radioaktif, efek biologik atau toksik akan muncul, jika *xenobiotika* tersebut telah terabsorpsi menuju sistem sistemik. Umumnya hanya *xenobiotika* yang terlarut, terdistribusi molekular, yang dapat diabsorpsi. Dalam hal ini akan terjadi pelepasan *xenobiotika* dari bentuk farmaseutikanya. Misalnya paparan *xenobiotika* melalui oral (misal sediaan dalam bentuk padat: tablet, kapsul, atau serbuk), maka terlebih dahulu kapsul/tablet akan terdistegrasi (hancur), sehingga *xenobiotika* akan terlarut di dalam cairan saluran pencernaan. *Xenobiotika* yang terlarut akan siap terabsorpsi secara normal dalam duodenal dari usus halus dan ditranspor melalui pembuluh kapiler mesenterika menuju vena porta hepatica menuju hati sebelum ke sirkulasi sistemik.

Penyerapan *xenobiotika* sangat tergantung pada konsentrasi dan lamanya kontak antara *xenobiotika* dengan permukaan organisme yang berkemampuan untuk mengabsorpsi *xenobiotika* tersebut. Dalam hal ini laju absorpsi dan jumlah *xenobiotika* yang terabsorpsi akan menentukan potensi efek biologik/toksik. Pada pemakaian obat, fase ini dikenal dengan fase farmaseutika, yaitu semua proses yang berkaitan dengan pelepasan senyawa obat dari bentuk farmasetikanya (tablet, kapsul, salep, dll). Bagian dosis dari senyawa obat, yang tersedia untuk diabsorpsi dikenal dengan ketersediaan farmaseutika. Pada kenyataannya sering dijumpai, bahwa sediaan tablet dengan kandungan zat aktif yang sama dan dibuat oleh pabrik farmasi yang berbeda, dapat memberikan potensi efek farmakologik yang berbeda. Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan ketersediaan farmaseutikanya. Perbedaan ketersediaan farmaseutika suatu sediaan ditentukan oleh sifat fisiko-kimia, umpamanya ukuran dan bentuk kristal, demikian pula jenis zat pembantu (tambahan pada tablet) dan metode fabrikasi. Disamping bentuk farmaseutika yang berpengaruh jelas terhadap absorpsi dan demikian pula tingkat toksisitas, sifat fisiko-kimia dari *xenobiotika* (seperti bentuk dan ukuran kristal, kelarutan dalam air atau lemak, konstanta disosiasi) tidak boleh diabaikan dalam hal ini. Laju absorpsi suatu *xenobiotika* ditentukan juga oleh sifat membran biologi dan aliran kapiler darah tempat kontak. Suatu *xenobiotika*, agar dapat diserap/diabsorpsi di tempat kontak, maka harus melewati membran sel di tempat

kontak. Suatu membran sel biasanya terdiri atas lapisan biomolekular yang dibentuk oleh molekul lipid dengan molekul protein yang tersebar diseluruh membran (lihat gambar 2.2.).

Jalur utama bagi penyerapan *xenobiotika* adalah saluran cerna, paru-paru, dan kulit. Namun pada keracunan aksidental, atau penelitian toksikologi, paparan *xenobiotika* dapat terjadi melalui jalur injeksi, seperti injeksi intravena, intramuskular, subkutan, intraperitoneal, dan jalur injeksi lainnya.



Gambar 2.2.: Diagram sistematis membran biologi.

Bulatan menggambarkan kelompok kepala lipid (fosfatidilkolin), dan baris zig-zag menunjukkan bagian ekornya. Bulatan hitam, putih, dan berbintil menunjukkan jenis lipid yang berbeda. Benda-benda besar menggambarkan protein, yang sebagian terletak di permukaan, dan sebagian lain di dalam membran. (Disadur dari Siger dan Nicholson (1972), Science, 175, 720, dalam LU, Toksikologi Dasar; Asas, Organ Sasaran, dan Penilaian Risiko, Jakarta, UI-Press, 1995, hal. 14, dengan modifikasi).

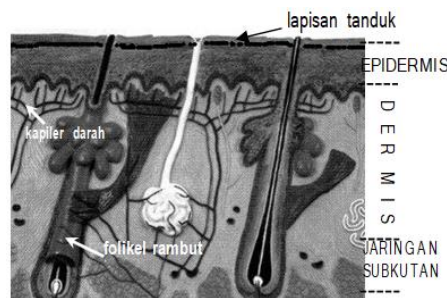
C. Eksposisi melalui kulit.

Eksposisi (pemejanan) yang paling mudah dan paling lazim terhadap manusia atau hewan dengan segala *xenobiotika*, seperti misalnya kosmetik, produk rumah tangga, obat topikal, cemaran lingkungan, atau cemaran industri di tempat kerja, ialah pemejanan sengaja atau tidak sengaja pada kulit.

Kulit terdiri atas epidermis (bagian paling luar) dan dermis, yang terletak di atas jaringan subkutan. Tebal lapisan epidermis adalah relatif tipis, yaitu rata-rata

sekitar 0,1-0,2 mm, sedangkan dermis sekitar 2 mm. Dua lapisan ini dipisahkan oleh suatu membran basal.

Lapisan epidermis terdiri atas lapisan sel basal (*stratum germinativum*), yang memberikan sel baru bagi lapisan yang lebih luar. Sel baru ini menjadi sel duri (*stratum spinosum*) dan, nantinya menjadi sel granuler (*stratum granulosum*). Selain itu sel ini juga menghasilkan keratohidrin yang nantinya menjadi keratin dalam *stratum corneum* terluar, yakni lapisan tanduk. Epidermis juga mengandung melanosit yang menghasilkan pigmen dan juga sel langerhans yang bertindak sebagai makrofag dan limfosit. Dua sel ini belakangan diketahui yang terlibat dalam berbagai respon imun.



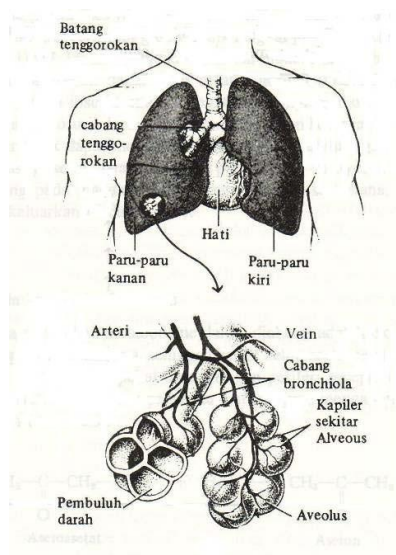
Gambar 2.3.: Potongan lintang kulit yang menunjukkan dua lapisan utama epidermis dan dermis.

Dermis terutama terdiri atas kolagen dan elastin yang merupakan struktur penting untuk mengokong kulit. Dalam lapisan ini ada beberapa jenis sel, yang paling banyak adalah fibroblast, yang terlibat dalam biosintesis protein berserat, dan zat-zat dasar, misalnya asam hialuronat, kondroitin sulfat, dan mukopolisakarida. Disamping sel-sel tersebut, terdapat juga sel lainnya antara lain sel lemak, makrofag, histosit, dan mastosit. Di bawah dermis terdapat jaringan subkutan. Selain itu, ada beberapa struktur lain misalnya folikel rambut, kelenjar keringan, kelenjar sebacea, kapiler pembuluh darah dan unsur syaraf.

Pejanan kulit terhadap toksin sering mengakibatkan berbagai lesi (luka), namun tidak jarang toksin dapat juga terabsorpsi dari permukaan kulit menuju sistem sistemik.

D. Eksposisi melalui jalur inhalasi.

Pemejanaan *xenobiotika* yang berada di udara dapat terjadi melalui penghirupan *xenobiotika* tersebut. Tokson yang terdapat di udara berada dalam bentuk gas, uap, butiran cair, dan partikel padat dengan ukuran yang berbeda-beda. Disamping itu perlu diingat, bahwa saluran pernafasan merupakan sistem yang kompleks, yang secara alami dapat menseleksi partikel berdasarkan ukurannya. Oleh sebab itu ambilan dan efek toksik dari tokson yang dihirup tidak saja tergantung pada sifat toksisitasnya tetapi juga pada sifat fisiknya.



Gambar 2.4: Skema saluran pernafasan manusia. terdiri atas nasofaring, saluran trakea dan bronkus, serta acini paru-paru, yang terdiri atas bronkiol pernafasan, saluran alveolar, dan alveoli.

Saluran pernafasan terdiri atas nasofaring, saluran trakea dan bronkus, serta acini paru-paru, yang terdiri atas bronkiol pernafasan, saluran alveolar, dan alveoli (lihat gambar 2.4). Nasofaring berfungsi membuang partikel besar dari udara yang dihirup, menambahkan uap air, dan mengatur suhu. Umumnya partikel besar ($>10\ \mu\text{m}$) tidak memasuki saluran napas, kalau masuk akan diendapkan di hidung dan dienyahkan dengan diusap, dihembuskan dan berbangkis. Saluran trakea dan bronkus berfungsi sebagai saluran udara yang menuju alveoli. Trakea dan bronki dibatasi oleh epitel bersilia dan dilapisi oleh lapisan tipis lendir yang disekresi dari

sel tertentu dalam lapisan epitel. Dengan silia dan lendirnya, lapisan ini dapat mendorong naik partikel yang mengendap pada permukaan menuju mulut. Partikel yang mengandung lendir tersebut kemudian dibuang dari saluran pernafasan dengan diludahkan atau ditelan. Namun, butiran cairan dan partikel padat yang kecil juga dapat diserap lewat difusi dan fagositosis. Fagosit yang berisi partikel-partikel akan diserap ke dalam sistem limfatik. Beberapa partikel bebas dapat juga masuk ke saluran limfatik. Partikel-partikel yang dapat terlarut mungkin diserap lewat epitel ke dalam darah.

Alveoli merupakan tempat utama terjadinya absorpsi xenobiotika yang berbentuk gas, seperti carbon monoksida, oksida nitrogen, belerang dioksida atau uap cairan, seperti bensen dan karbontetraklorida. Kemudahan absorpsi ini berkaitan dengan luasnya permukaan alveoli, cepatnya aliran darah, dan dekatnya darah dengan udara alveoli. Laju absorpsi bergantung pada daya larut gas dalam darah. Semakin mudah larut akan semakin cepat diabsorpsi.

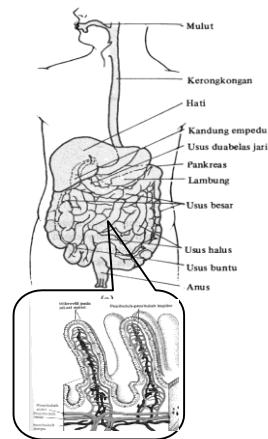
E. Eksposisi melalui jalur saluran cerna.

Pemejanaan tokson melalui saluran cerna dapat terjadi bersama makanan, minuman, atau secara sendiri baik sebagai obat maupun zat kimia murni. Pada jalur ini mungkin tokson terserap dari rongga mulut (sub lingual), dari lambung sampai usus halus, atau eksposisi tokson dengan sengaja melalui jalur rektal. Kecuali zat yang bersifat basa atau asam kuat, atau zat yang dapat merangsang mukosa, pada umumnya tidak akan memberikan efek toksik kalau tidak diserap.

Cairan getah lambung bersifat sangat asam, sehingga senyawa asam-asam lemah akan berada dalam bentuk non-ion yang lebih mudah larut dalam lipid dan mudah terdifusi, sehingga senyawa-senyawa tersebut akan mudah terserap di dalam lambung. Berbeda dengan senyawa basa lemah, pada cairan getah lambung akan terionkan oleh sebab itu akan lebih mudah larut dalam cairan lambung. Senyawa basa lemah, karena cairan usus yang bersifat basa, akan berada dalam bentuk non-ioniknya, sehingga senyawa basa lemah akan lebih mudah terserap melalui usus ketimbang lambung.

Pada umumnya tokson melintasi membran saluran pencernaan menuju sistem sistemik dengan difusi pasif, yaitu transpor dengan perbedaan konsentrasi sebagai

daya dorongnya. Namun disamping difusi pasif, juga dalam usus, terdapat juga transpor aktif, seperti transpor yang terfasilitasi dengan zat pembawa (carrier), atau pinositosis.



Gambar 2.5. Skema saluran pencernaan manusia

F. FASE TOKSOKINETIK

Proses biologik yang terjadi pada fase toksokinetik umumnya dikelompokkan ke dalam proses invasi dan evesi. Proses invasi terdiri dari absorpsi, transpor, dan distribusi, sedangkan evesi juga dikenal dengan eliminasi. Absorpsi suatu *xenobiotika* adalah pengambilan *xenobiotika* dari permukaan tubuh (disini termasuk juga mukosa saluran cerna) atau dari tempat-tempat tertentu dalam organ dalaman ke aliran darah atau sistem pembuluh limfe. Apabila *xenobiotika* mencapai sistem sirkulasi sistemik, *xenobiotika* akan ditranspor bersama aliran darah dalam sistem sirkulasi. WEISS (1990) membagi distribusi ke dalam konveksi (transpor *xenobiotika* bersama peredaran darah) dan difusi (difusi *xenobiotika* di dalam sel atau jaringan). Sedangkan eliminasi (evesi) adalah semua proses yang dapat menyebabkan penurunan kadar *xenobiotika* dalam sistem biologi / tubuh organisme, proses tersebut reaksi biotransformasi dan ekskresi.

Sederetan proses tersebut sering disingkat dengan ADME, yaitu: adsorpsi, distribusi, metabolisme dan eliminasi. Proses absorpsi akan menentukan jumlah *xenobiotika* (dalam bentuk aktifnya) yang dapat masuk ke sistem sistemik atau mencapai tempat kerjanya. Jumlah *xenobiotika* yang dapat masuk ke sistem

sistemik dikenal sebagai ketersediaan biologi / hayati. Keseluruhan proses pada fase toksokinetik ini akan menentukan menentukan efficacy (kemampuan *xenobiotika* menghasilkan efek), efektifitas dari *xenobiotika*, konsentrasi *xenobiotika* di reseptor, dan durasi dari efek farmakodinamikanya.

Soal Latihan:

1. Berikan gambaran secara singkat mengenai Fase Eksposisi
2. Berikan gambaran secara singkat mengenai Eksposisi melalui kulit.
3. Berikan gambaran secara singkat mengenai Eksposisi melalui jalur inhalasi beserta contohnya.
4. Berikan gambaran secara singkat mengenai Eksposisi melalui jalur saluran cerna.
5. Berikan gambaran secara singkat mengenai Fase Toksokinetik beserta tahapan tahapannya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ariens,E.J., Mutschler,E., Simonis,A.M.,1985, Toksikologi Umum, Pengantar, Wattimena,Y.R.(terj.), Gadjah Mada University Press,Yogyakarta.
2. Hardman J.G., Goodman Gilman, A., Limbird, L.E., 1996, Goodman & Gilman's, The pharmacological Basis of Therapeutics, 9th edn, Mc Graw-Hill, New York
3. Ling, L.J., 2000, Toxikology Secrets, Hanley & Belfus, Inc. Philadelphia
4. Loomis, T.A., 1978, Toksikologi Dasar, Donatus, A. (terj.) IKIP Semarang Press, Semarang
5. Lu, F.C., 1995, Toksikologi Dasar, Asas, Organ Sasaran, dan Penilaian Resiko, Nugroho, E. (terj.), UI Press, Jakarta
6. Nasruddin, at al. 2019. Toksikologi Industri. Universitas halu oleo kendari.

BAB III

KLASIFIKASI TOKSIKAN BERDASARKAN JENIS, SUMBER, DAN DAYA RACUNNYA

A. KLASIFIKASI TOKSIN/RACUN

Racun dapat diklasifikasikan berdasarkan atas berbagai hal seperti: sumber, sifat kimiawi dan fisiknya, bagaimana dan kapan terbentuknya, efek terhadap kesehatan, kerusakan organ, dan hidup/tidaknya racun tersebut (Yulianto et al, 2017).

1. Klasifikasi berdasar sumber :

- a. Sumber alamiah/buatan. Klasifikasi ini membedakan racun asli yang berasal dari flora dan fauna dan kontaminasi organisme dengan berbagai racun yang berasal dari bahan baku industri beracun ataupun buangan beracun dan bahan sintesis beracun
- b. Sumber berbentuk titik, area dan bergerak. Klasifikasi sumber seperti ini biasanya dipergunakan orang yang berminat melakukan pengendalian. Tentunya sumber titik lebih mudah dikendalikan daripada sumber area dan bergerak.
- c. Sumber domestik, komersial dan industri Sumber domestik biasanya berasal dari permukiman, kurang beracun kecuali bercampur dengan buangan pestisida, obat-obatan dll. Buangan komersial dapat sangat beragam, demikian pula dengan buangan industri.

B. Klasifikasi berdasarkan wujud

Sangat bermanfaat dalam memahami efek yang mungkin terjadi serta pengendaliannya.

- a. Wujud pencemar

- 1) Padat : padatan yang sangat halus dapat terbang bersama udara, disebut debu, fume, mist, sehingga dampaknya dapat sangat luas.
- 2) Cair : banyak dipergunakan dalam pertanian dan biasanya ditambah pengencer dampaknya tidak secepat gas.
- 3) Gas : dapat berdifusi sehingga menyebar lebih cepat dari pada cairan dan zat padat.

b. Ukuran pencemar, densitas, serta komposisi : Hal ini akan memberikan petunjuk mudah tidaknya pencemar memasuki tubuh host dan cepat tidaknya menimbulkan efek serta seberapa jauh efeknya.

C. Klasifikasi atas dasar sifat fisika dan kimia

a. Korosif

Korosif adalah sifat suatu substansi yang dapat menyebabkan benda lain hancur atau memperoleh dampak negatif. Korosif dapat menyebabkan kerusakan pada mata, kulit, sistem pernapasan, dan banyak lagi. Contoh bahan kimia yang bersifat korosif antara lain asam sulfat, asam asetat, asam klorida dan lain-lain.

b. Radioaktif

Bahan radioaktif adalah bahan kimia yang mempunyai kemampuan memancarkan sinar radioaktif dengan aktivitas jenis lebih besar dari 0,002 microcuri per gram. Suatu bahan kimia dapat termasuk diantara satu atau lebih klasifikasi diatas, karena memang mempunyai sifat ganda. Contoh : Benzena adalah zat beracun, karsinogenik tetapi juga mudah terbakar, klor adalah zat beracun yang juga bersifat korosif.

Radioaktif adalah bahan yang terkontaminasi dengan radio isotop yang berasal dari penggunaan medis atau riset radio nukleida. Limbah ini dapat berasal dari antara lain : tindakan kedokteran nuklir, radio-imunoassay dan bakteriologis; dapat berbentuk padat, cair atau gas.

c. Evaporatif

Bahan toksin evaporatif adalah bahan yang mudah menguap dan biasanya jenis bahan kimia ini mudah terbakar. Di dalam laboratorium dapat digolongkan menjadi tiga golongan, yaitu sebagai berikut:

- 1) Padat, misalnya, belerang, hidrida logam, logam alkali, fosfor merah dan kuning.
- 2) Cair, misalnya, alkohol, aseton, benzena, eter, methanol, n-heksana, pentana.
- 3) Gas, misalnya, hidrogen dan asetilen.

d. Eksplosif

Adalah suatu zat padat atau cair atau campuran keduanya yang karena suatu reaksi kimia dapat menghasilkan gas dalam jumlah dan tekanan yang besar serta suhu yang tinggi, sehingga menimbulkan kerusakan disekelilingnya. Zat eksplosif amat peka terhadap panas dan pengaruh mekanis (gesekan atau tumbukan), ada yang dibuat sengaja untuk tujuan peledakan atau bahan peledak seperti trinitrotoluene (TNT), nitrogliserin dan ammonium nitrat (NH_4NO_3). Contoh lainnya adalah Asetilena dan amonium nitrat.

e. Reaktif

- 1) Bahan kimia beracun yang mudah bereaksi dengan air, asam, udara sehingga dapat meledak, terbakar dan lainnya.
 - 2) Bahan yang reaktif terhadap air adalah bahan yang apabila bereaksi dengan air akan mengeluarkan panas dan gas sehingga mudah terbakar contohnya: alkali dan alkali tanah, garam halida dan anhidrat, oksida anhidrat dan sulfuril klorida.
 - 3) Bahan yang reaktif terhadap asam adalah bahan yang apabila bereaksi dengan asam akan mengeluarkan panas dan gas sehingga mudah terbakar, beracun dan korosif contohnya: kalium klorat, kalium perklorat, kalium permanganat dan asam kromat.
 - 4) Semuanya memerlukan penanganan, transportasi, dan pembuangan yang berbeda, karena bahaya yang mungkin timbul akan berbeda.
4. Klasifikasi atas dasar terbentuknya pencemar/xenobiotik
- a. Pencemar yang terbentuk dan keluar dari sumber disebut pencemar primer.
 - b. Pencemar yang sudah bereaksi dilingkungan disebut pencemar sekunder.
 - c. Pencemar sekunder yang bereaksi menjadi pencemar tersier.
5. Klasifikasi atas efek kesehatan
- a. Fibrosis : terbentuknya jaringan ikat secara berlebihan;
 - b. Granuloma : didapatnya jaringan radang kronis;
 - c. Demam : suhu badan melebihi suhu normal;
 - d. Asfiksia : keadaan kekurangan oksigen;
 - e. Alergi : sensitifitas yang berlebihan;
 - f. Kanker : tumor ganas; Mutan : generasi yang berbeda dengan gen induknya

- g. Teratogenik : cacat bawaan
 - h. Keracunan sistemik : keracunan yang menyerang seluruh tubuh.
6. Klasifikasi atas dasar kerusakan organ target :
- a. Hepatoksik : beracun pada hati;
 - b. Nefrotoksik : beracun pada ginjal;
 - c. Neurotoksik : beracun pada saraf;
 - d. Hematotoksik : beracun pada sel darah;
 - e. Pneumotoksik : beracun pada paru-paru.

7. Klasifikasi atas dasar hidup/matinya racun

Klasifikasi ini dibuat berdasarkan pertimbangan bahaya yang ditimbulkannya. Zat yang hidup dapat berkembang biak bila lingkungannya mengijinkan. Zat abiotis dapat berubah menjadi berbagai senyawa Sehingga pengendaliannya berbeda.

Soal Latihan:

1. *Buatlah uraian singkat Klasifikasi Toksin/Racun*
2. *Uraikan dengan singkat mengenai Klasifikasi berdasar sumber*
3. *Jelaskan dan berikan contoh tentang Klasifikasi berdasarkan wujud*
4. *Jelaskan dan berikan contoh tentang Klasifikasi atas dasar sifat fisika dan kimia*

DAFTAR PUSTAKA

1. Ariens,E.J., Mutschler,E., Simonis,A.M.,1985, Toksikologi Umum, Pengantar, Wattimena,Y.R.(terj.), Gadjah Mada University Press,Yogyakarta.
2. Hardman J.G., Goodman Gilman, A., Limbird, L.E., 1996, Goodman & Gilman's, The pharmacological Basis of Therapeutics, 9th edn, Mc Graw-Hill, New York
3. Ling, L.J., 2000, Toxikology Secrets, Hanley & Belfus, Inc. Philadelphia
4. Loomis, T.A., 1978, Toksikologi Dasar, Donatus, A. (terj.) IKIP Semarang Press, Semarang
5. Lu, F.C., 1995, Toksikologi Dasar, Asas, Organ Sasaran, dan Penilaian Resiko, Nugroho, E. (terj.), UI Press, Jakarta
6. Nasruddin, at al. 2019. Toksikologi Industri. Universitas halu oleo kendari.

BAB III

KONSEP DOSIS RESPON DALAM TOKSIKOLOGI

A. Hubungan Dosis Respon, Dosis -Kerja, Waktu Kerja, Waktu Kerja, Waktu-Kerja

Kita telah membicarakan, bahwa respons biologis “efek farmakologis/toksik” ditentukan oleh afinitas *xenobiotika* terhadap reseptor dan juga jumlah *xenobiotika* yang menduduki reseptor (konsentrasi *xenobiotika* pada reseptor). Kemampuan suatu *xenobiotika* untuk mencapai reseptor dan faktor yang berpengaruh, telah dibahas pada sub bahasan fase toksikinetik, ditentukan oleh beberapa faktor seperti: sifat fisikokimia, bentuk farmaseutika, tempat kontak dan faktor psikologi organisme. Dalam prakteknya diperlukan suatu sistem yang ideal, yang dapat menggambarkan kekerabatan antara respon dan dosis (konsentrasi *xenobiotika*), Dosis dan kerja “afinitas intrinsik”, serta hubungan antara waktu dan kerja. Sistem ini dapat dijadikan dasar oleh seorang toksikolog dalam menentukan ambang batas minimal konsentrasi toksikan dinyatakan berbahaya atau oleh seorang dokter dalam memilih obat dan memberi dosis yang tepat, guna mendapatkan suatu keputusan terapeutik yang rasional.

Bila dapat dianggap bahwa efek akhir dari suatu paparan diwujudkan sebagai ada respon menyeluruh atau sama sekali tidak ada respon, maka haruslah terdapat suatu kisaran konsentrasi *xenobiotika* yang akan memberikan suatu respon “efek” bertingkat pada suatu tempat diantara dua titik ekstrim tersebut. Percobaan penetapan kisaran kadar “dosis” ini merupakan dasar kekerabatan antara dosis dan respon. Dalam praktisnya, pada suatu penelitian biologis sering sekelompok

sampel, seperti sel tunggal "bakteri", atau sekelompok hewan percobaan, dapat dianggap sebagai suatu populasi mekanisme biologi yang seragam, dan karena itu mungkin dapat dipejankan dengan suatu kadar atau dosis dari *xenobiotika* tertentu yang telah diseleksi secara tepat. Namun anggapan ini tidak selalu tepat dimana perbedaan individual turut memberikan perbedaan respon pada jumlah pejanan *xenobiotika* yang sama.

Bila suatu *xenobiotika* mampu menimbulkan efek yang dapat diamati, seperti kematian, perubahan mekanisme biologi, maka dosis *xenobiotika* itu dapat dipilih agar dapat menimbulkan efek tersebut. Dan lagi, bila efek tersebut dapat dikuantitatifkan, maka percobaannya akan menunjukkan bahwa tidak seluruh anggota kelompok memberi respon yang secara kuantitatif identik terhadap sejumlah dosis yang sama. Kiranya beberapa hewan percobaan akan memberikan respon yang hebat, sedangkan yang lain bahkan sama sekali tidak menunjukkan respon. Jadi apa yang telah dianggap sebagai "sama sekali ada atau sama sekali tak ada respon" hanya berlaku untuk suatu anggota tunggal dari kelompok uji tersebut, dan ternyata respons merupakan hubungan yang benar-benar bertingkat bila dilihat dari keseluruhan kelompok hewan uji. Dalam sub bahasan berikut ini kita akan mengulas bagaimana cara memperoleh hubungan antara dosis-respon, dosis-kerja, dan kerja dan waktu, serta makna dari kekerabatan tersebut dan pada bagian akan diulas faktor-faktor yang berpengaruh atau menentukan resiko dalam lingkungan zat berbahaya (Yulianto et al, 2017).

B. Hubungan Dosis Respon

Hubungan dosis-respon menggambarkan suatu distribusi frekuensi individu yang memberikan respons pada rentang dosis tertentu. Bila distribusi frekuensi tersebut dibuat kumulatif maka akan diperoleh kurva berbentuk sigmoid yang umumnya disebut kurva dosis-persen responder. Pada dasarnya kurva hubungan dosis-respon menunjukkan variasi individual dari dosis yang diperlukan untuk menimbulkan suatu efek tertentu.

a. Frekuensi respon - respon kumulatif

Dalam percobaan toksikologi menggunakan hewan uji, biasanya digunakan hewan dalam satu seri anggota spesies tertentu yang dianggap seragam bila diberikan suatu dosis *xenobiotika* uji guna menimbulkan suatu respon yang identik. Data yang diperoleh dari suatu percobaan seperti itu diplot dalam suatu bentuk kurva distribusi atau kurva frekuensi respon sebagai kurva respon kuantal, karena kurva tersebut menggambarkan kisaran dosis yang diperlukan untuk menimbulkan respon yang secara kuantitatif identik dalam suatu populasi subjek uji yang besar. Yang dimaksud respon bersifat kuantal (all or none) adalah ada atau tidak sama sekali respon pada hewan uji.

Kurva frekuensi-respon menunjukkan bahwa persentase atau jumlah dari hewan uji yang memberikan respon secara kuantitatif identik pada pemberian sejumlah dosis tertentu. Dari kurva tersebut terlihat, dimana beberapa hewan akan memperlihatkan respon yang sama pada dosis yang rendah sedangkan yang lainnya memerlukan dosis yang lebih tinggi. Kurva seperti di atas, mengikuti pola

distribusi Gaussian, namun berbeda dalam praktisnya distribusi suatu frekuensi respon tidak selalu memenuhi pola distribusi Gaussian.

b. Konsep statistika dan besaran aktivitas 50%

Dosis suatu *xenobiotika* mungkin cukup kecil sehingga tidak menimbulkan efek kematian, namun bila dosis dinaikkan, hingga diperoleh suatu kurva sigmoid, sehingga pada dosis yang cukup tinggi, 100% hewan uji mati sebagai akibat pemejanaan *xenobiotika* uji. Hubungan ini menggambarkan bahwa respon yang timbul langsung berkaitan dengan kadar/dosis dari suatu senyawa yang ada. Sehingga tidak dapat disangkal bahwa bahaya atau amannya suatu senyawa kimia itu tergantung pada dosis yang diberikan. Dalam toksikologi, jumlah dosis yang menyebabkan 50% individu memberikan reaksi (respon) digunakan sebagai besaran aktivitas (seperti, ED50 = Effective Dose 50% atau LD50 = Lethal Dose 50%) dari *xenobiotika*.

C. Hubungan Dosis-Kerja

Efek *xenobiotika* tergantung pada konsentrasi zat, dengan demikian tergantung pada dosis, juga dari tetapan kesetimbangan atau tetapan afinitas yaitu parameter yang menentukan kecenderungan obat untuk bereaksi dengan reseptor.

Kurva dosis-kerja merupakan sebuah kurva asimetris, yang bila dosis digambarkan secara logaritmik, membentuk huruf S. Ini berarti bahwa terdapat distribusi normal logaritmik yang sesuai dengan keterangan terdahulu. Kurva dosis-kerja dapat juga ditinjau sebagai kurva dosis-reaksi untuk suatu populasi dari satuan efektor, tiap efektor akan bereaksi menurut hukum “semua atau tak satupun”. Implikaasinya adalah bahwa reaksi suatu efektor merupakan andil

tertentu bagi efek keseluruhan. Kurva dosis-kerja dengan demikian menggambarkan peranan tiap efektor tersebut secara kumulatif. Dosis yang menyebabkan efektor memberikan reaksi akan tersebar disekitar dosis dosis yang menyebabkan 50% satuan efektor bereaksi. Jika 50% dari satuan efektor memberi reaksi maka akan timbul efek yang merupakan 50% efek maksimum yang mungkin dicapai oleh senyawa tersebut. Pada kurva dosis-kerja, dapat dibedakan dua paramater yaitu : Afinitas dan Aktifitas intrinsik.

Pada prinsipnya sebuah zat harus mempunyai afinitas terhadap reseptor khas agar dapat menimbulkan efek tertentu. Afinitas dapat ditentukan dari dosis yang dibutuhkan untuk mencapai efek tertentu misalnya 50% efek maksimum. Kalau dosis tinggi berarti afinitas kecil, kalau dosis rendah berarti afinitas besar.

Disamping afinitas, suatu zat dapat mempunyai kemampuan untuk menyebabkan perubahan dalam molekul reseptor (misalnya perubahan pada konformasi reseptor) dan melalui beberapa tingkat reaksi berikutnya baru kemudian dicapai efek sesungguhnya. Sifat ini disebut aktifitas intrinsik senyawa bersangkutan. Ini menentukan besarnya efek maksimum yang dapat dicapai oleh senyawa tersebut.

Afinitas xenobiotik pada reseptornya dapat dianggap sama dengan tetapan (konstanta) afinitas pada interaksi antara enzim dengan substratnya. Banyak xenobiotik memiliki afinitas terhadap reseptor khas akan tetapi tidak mempunyai aktifitas intrinsik. Xenobiotik ini disebut antagonis kompetitif, dapat bereaksi dengan reseptor akan tetapi tidak menimbulkan efek. Tetapi senyawa ini mampu

bersaing pada tempat kerja dengan zat yang mempunyai baik afinitas maupun aktifitas intrinsik.

Efek toksik berbagai zat disebabkan adanya antagonisme kompetitif dengan senyawa endogen yang penting bagi tubuh seperti neurotransmitter, vitamin atau metabolit. Demikian juga antidot bekerja secara antagonis kompetitif dengan racun bersangkutan (misalnya penggulangan dengan vitamin K pada takaran berlebih dari antikoagulasi jenis kumarin, pemberian asam folat pada takaran antagonis asam folat yang terlalu tinggi).

D. Hubungan Waktu-Kerja

Disamping hubungan dosis-kerja, hubungan waktu-kerja juga berperanan penting. Jika eksposisi suatu zat hanya terjadi satu kali, seperti umumnya pada keracunan akut, mulamula efek akan naik tergantung pada laju absorpsi dan kemudian efek akan turun tergantung pada laju eliminasi. Dibawah konsentrasi plasma tertentu disebut konsentrasi sub-efektif atau subtoksik sedangkan mulai dari konsentrasi tersebut dinamakan konsentrasi efektif/toksik. Bagian kurva yang terletak diatas konsentrasi efektif / konsentrasi toksik minimum, merupakan ukuran untuk lamanya dan besarnya efek.

Dengan demikian pada prinsipnya ada tiga cara untuk mencegah atau menekan efek toksik:

- a. Memperkecil absorpsi atau laju absorpsi, sehingga konsentrasi plasma tetap berada dibawah daerah toksik. Ini dapat dicapai dengan penggunaan adsorbensia, misalnya karbon aktif, dengan pembilasan lambung atau dengan

mempercepat pengosongan lambung-usus dengan laksansoa garam. Dengan cara-cara ini fase eksposisi akan diubah.

- b. Meningkatkan eliminasi zat toksik dan/atau pembentukan suatu kompleks yang tak aktif. Eliminasi dapat ditingkatkan dengan mengubah pH urin, misalnya dengan pembasaan urin dan diuresis paksa pada keracunan barbiburat, sedangkan pembentuk khelat dipakai untuk inaktivasi ion logam yang toksik. Ini akan menyebabkan perubahan fase toksikokinetik.
- c. Memperkecil kepekaan objek biologik terhadap efek. Dalam hal ini konsentrasi plasma tak dipengaruhi, akan tetapi batas kritis, konsentrasi toksik minimum ditinggikan. Hampir semua bentuk penanganan keracunan secara simptomatik berdasarkan prinsip ini. Bentuk khusus dari cara ini yaitu pemakaian antidot khusus yang bekerja pada fase toksikodinamik, misalnya pemberian atropina pada keracunan fosfat organik.

Kadang - kadang, misalnya pada zat yang digunakan dalam dosis yang relatif tinggi sehingga mencapai kadar plasma yang tinggi, dapat terjadi penjenuhan sistem yang berperan pada ekskresi. Ini terutama terjadi pada sistem enzim untuk biotransformasi dan sistem transport aktif pada ekskresi. Dalam kedua hal ini senyawa harus diikat pada tempat tertentu misalnya di enzim pada pusat aktifnya atau pada tempat ikatan dari molekul transpor. Jika pada ekskresi sistem itu memegang peranan penting, maka untuk satuan waktu tertentu jumlah zat yang diekskresi tetap selama sistem ini jenuh.

Jika konsentrasi zat turun dibawah nilai tertentu, pada keadaan ini sistem enzim tidak jenuh lagi, maka kurva eliminasi akan menjadi kurva eksponen kembali.

Pada gambaran linier untuk kasus tersebut, maka bagian pertama kurva eliminasi akan berbentuk garis lurus, sedangkan bagian kedua menggambarkan fungsi eksponen.

Pada keracunan kronis suatu zat yang mempunyai waktu paruh yang besar, konsentrasi plasma akan naik sampai terjadi kesetimbangan konsentrasi. Pada umumnya terdapat hubungan paralel antara konsentrasi zat toksik pada fase kumulasi dengan intensitas gejala toksik. Dengan demikian konsentrasi dalam plasma atau dalam jaringan merupakan petunjuk tingkat keparahan keracunan.

Walaupun tak terjadi kumulasi zat toksik tadi, ada kemungkinan gejala bertambah parah karena kumulasi efek. Ini menyebabkan pada pemberian berikutnya dari racun yang menyebabkan kerusakan tertentu tersebut, gejala akan bertambah parah. Sebagai contoh misalnya ginjal yang sudah rusak akan lebih peka terhadap pemberian toksin berikutnya dibandingkan ginjal sehat. Dalam hal ini konsentrasi plasma hanya merupakan ukuran eksposisi senyawa toksik tersebut, tetapi tidak menyatakan parahnya keracunan. Umumnya pada eksposisi kronis, fase awal yang tidak menunjukkan gejala tertentu, akan diikuti dengan fase yang menunjukkan dimana tanda keracunan makin parah. Pada fase tanpa gejala tersebut dapat dilakukan penyelidikan langsung atau tidak langsung adanya racun, untuk mengetahui derajat eksposisi dan bahaya keracunan.

Soal Latihan:

1. Berikan uraian secara singkat mengenai Hubungan Dosis Respon, Dosis -Kerja, Waktu Kerja, Waktu Kerja, Waktu-Kerja
2. Jelaskan dan berikan contoh mengenai Frekuensi respon - respon kumulatif dan Konsep statistika dan besaran aktivitas 50%
3. Pada prinsipnya ada tiga cara untuk mencegah atau menekan efek toksik, sebutkan dan jelaskan!

DAFTAR PUSTAKA

1. Ariens,E.J., Mutschler,E., Simonis,A.M.,1985, Toksikologi Umum, Pengantar, Wattimena,Y.R.(terj.), Gadjah Mada University Press,Yogyakarta.
2. Hardman J.G., Goodman Gilman, A., Limbird, L.E., 1996, Goodman & Gilman's, The pharmacological Basis of Therapeutics, 9th edn, Mc Graw-Hill, New York
3. Ling, L.J., 2000, Toxikology Secrets, Hanley & Belfus, Inc. Philadelphia
4. Loomis, T.A., 1978, Toksikologi Dasar, Donatus, A. (terj.) IKIP Semarang Press, Semarang
5. Lu, F.C., 1995, Toksikologi Dasar, Asas, Organ Sasaran, dan Penilaian Resiko, Nugroho, E. (terj.), UI Press, Jakarta
6. Nasruddin, at al. 2019. Toksikologi Industri. Universitas halu oleo kendari.
7. Yulianto, Nurul Amaloyah. 2017. BAHAN AJAR KESEHATAN LINGKUNGAN TOKSIKOLOGI LINGKUNGAN. KEMENTERIAN KESEHATAN REPUBLIK INDONESIA PUSAT PENDIDIKAN SUMBER DAYA MANUSIA KESEHATAN BADAN PENGEMBANGAN DAN PEMBERDAYAAN SUMBER DAYA MANUSIA KESEHATAN

BAB IV

SENYAWA PENCEMAR

DI LINGKUNGAN BIOTIK DAN ABIOTIK

A. Pengertian pencemaran

Pencemaran, menurut SK Menteri Kependudukan Lingkungan Hidup No 02/MENKLH/1988, adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam air/udara, dan/atau berubahnya tatanan (komposisi) air/udara oleh kegiatan manusia dan proses alam, sehingga kualitas air/udara menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya.

Untuk mencegah terjadinya pencemaran terhadap lingkungan oleh berbagai aktivitas industri dan aktivitas manusia, maka diperlukan pengendalian terhadap pencemaran lingkungan dengan menetapkan baku mutu lingkungan. Baku mutu lingkungan adalah batas kadar yang diperkenankan bagi zat atau bahan pencemar terdapat di lingkungan dengan tidak menimbulkan gangguan terhadap makhluk hidup, tumbuhan atau benda lainnya.

Pada saat ini, pencemaran terhadap lingkungan berlangsung di mana-mana dengan laju yang sangat cepat. Sekarang ini beban pencemaran dalam lingkungan sudah semakin berat dengan masuknya limbah industri dari berbagai bahan kimia termasuk logam berat.

Pencemaran lingkungan dapat dikategorikan menjadi:

1. Pencemaran air
2. Pencemaran udara
3. Pencemaran tanah

B. Pengertian lingkungan

Kehidupan manusia tidak bisa dipisahkan dari lingkungannya. Baik lingkungan alam maupun lingkungan sosial. Kita bernapas memerlukan udara dari lingkungan sekitar. Kita makan, minum, menjaga kesehatan, semuanya

memerlukan lingkungan. Pengertian lingkungan adalah segala sesuatu yang ada di sekitar manusia yang memengaruhi perkembangan kehidupan manusia baik langsung maupun tidak langsung. Lingkungan bisa dibedakan menjadi lingkungan biotik dan abiotik. Jika kalian berada di sekolah, lingkungan biotiknya berupa teman-teman sekolah, bapak ibu guru serta karyawan, dan semua orang yang ada di sekolah, juga berbagai jenis tumbuhan yang ada di kebun sekolah serta hewan-hewan yang ada di sekitarnya. Adapun lingkungan abiotik berupa udara, meja kursi, papan tulis, gedung sekolah, dan berbagai macam benda mati yang ada di sekitar.

Lingkungan adalah kombinasi antara kondisi fisik yang mencakup keadaan sumber daya alam seperti tanah, air, energi surya, mineral, serta flora dan fauna yang tumbuh di atas tanah maupun di dalam lautan, dengan kelembagaan yang meliputi ciptaan manusia seperti keputusan bagaimana menggunakan lingkungan fisik tersebut.

Lingkungan terdiri dari komponen abiotik dan biotik. Komponen abiotik adalah segala yang tidak bernyawa seperti tanah, udara, air, iklim, kelembaban, cahaya, bunyi. Sedangkan komponen biotik adalah segala sesuatu yang bernyawa seperti tumbuhan, hewan, manusia dan mikro-organisme (virus dan bakteri). Ilmu yang mempelajari lingkungan adalah ilmu lingkungan atau ekologi. Ilmu lingkungan adalah cabang dari ilmu biologi.

Seringkali lingkungan yang terdiri dari sesama manusia disebut juga sebagai lingkungan sosial. Lingkungan sosial inilah yang membentuk sistem pergaulan yang besar peranannya dalam membentuk kepribadian seseorang.

C. Pengertian lingkungan hidup

Secara khusus, kita sering menggunakan istilah lingkungan hidup untuk menyebutkan segala sesuatu yang berpengaruh terhadap kelangsungan hidup segenap makhluk hidup di bumi. Berdasarkan UU No. 23 Tahun 1997, lingkungan hidup adalah kesatuan ruang dengan semua benda dan kesatuan makhluk hidup termasuk di dalamnya manusia dan perilakunya yang melangsungkan perikehidupan dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lainnya. Unsur-unsur lingkungan hidup dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu:

1. Unsur Hayati (biotic)

Unsur hayati (biotik), yaitu unsur lingkungan hidup yang terdiri dari makhluk hidup, seperti manusia, hewan, tumbuh-tumbuhan, dan jasad renik. Jika kalian berada di kebun sekolah, maka lingkungan hayatinya didominasi oleh tumbuhan.

2. Unsur Sosial Budaya

Unsur sosial budaya, yaitu lingkungan sosial dan budaya yang dibuat manusia yang merupakan sistem nilai, gagasan, dan keyakinan dalam perilaku sebagai makhluk sosial. Kehidupan masyarakat dapat mencapai keteraturan berkat adanya sistem nilai dan norma yang diakui dan ditaati oleh segenap anggota masyarakat.

3. Unsur Fisik (abiotik)

Unsur fisik (abiotik), yaitu unsur lingkungan hidup yang terdiri dari benda-benda tidak hidup, seperti tanah, air, udara, iklim, dan lain-lain. Keberadaan lingkungan fisik sangat besar peranannya bagi kelangsungan hidup segenap kehidupan di bumi. Bayangkan, apa yang terjadi jika air tak ada lagi di muka bumi atau udara yang dipenuhi asap? Tentu saja kehidupan di muka bumi tidak akan berlangsung secara wajar. Akan terjadi bencana kekeringan, banyak hewan dan tumbuhan mati, perubahan musim yang tidak teratur, munculnya berbagai penyakit, dan lain-lain.

D. Pengertian Pencemaran Lingkungan

Polusi atau pencemaran lingkungan adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat energi, dan atau komponen lain ke dalam lingkungan atau berubahnya tatanan lingkungan oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam sehingga kualitas lingkungan turun sampai ke tingkat tertentu yang

menyebabkan lingkungan menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya (UU Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup No. 4 Tahun 1982).

Pencemaran dapat timbul sebagai akibat kegiatan manusia ataupun disebabkan oleh alam (misal gunung meletus, gas beracun). Ilmu lingkungan biasanya membahas pencemaran yang disebabkan oleh aktivitas manusia, yang dapat dicegah dan dikendalikan. Karena kegiatan manusia, pencemaran lingkungan pasti terjadi. Pencemaran lingkungan tersebut tidak dapat dihindari. Yang dapat dilakukan adalah mengurangi pencemaran, mengendalikan pencemaran, dan meningkatkan kesadaran dan kepedulian masyarakat terhadap lingkungannya agar tidak mencemari lingkungan.

Zat atau bahan yang dapat mengakibatkan pencemaran disebut polutan. Syarat - syarat suatu zat disebut polutan bila keberadaannya dapat menyebabkan kerugian terhadap makhluk hidup. Contohnya, karbon dioksida dengan kadar 0,033% di udara berfaedah bagi tumbuhan, tetapi bila lebih tinggi dari 0,033% dapat memberikan efek.

Suatu zat dapat disebut polutan apabila :

1. Jumlahnya melebihi jumlah normal.
2. Berada pada waktu yang tidak tepat.
3. Berada di tempat yang tidak tepat.

Sifat polutan yaitu:

1. Merusak untuk sementara, tetapi bila telah bereaksi dengan zat lingkungan tidak merusak lagi.

2. Merusak dalam waktu lama. Contohnya Pb tidak merusak bila konsentrasinya rendah. Akan tetapi dalam jangka waktu yang lama, Pb dapat terakumulasi dalam tubuh sampai tingkat yang merusak.

E. Jenis - jenis Pencemaran Lingkungan

1. Berdasarkan Tempat Terjadinya

Menurut tempat terjadinya, pencemaran dibedakan menjadi pencemaran udara, air, dan tanah.

a. Pencemaran Udara

Pencemaran udara disebabkan oleh asap buangan, misalnya gas CO₂ hasil pembakaran, SO, SO₂, CFC, CO, dan asap rokok.

1. CO₂

Pencemaran udara yang paling menonjol adalah semakin meningkatnya kadar CO₂ di udara. Karbon dioksida itu berasal dari pabrik, mesin-mesin yang menggunakan bahan bakar fosil (batubara, minyak bumi), juga dari mobil, kapal, pesawat terbang, dan pembakaran kayu. Meningkatnya kadar CO₂ di udara tidak segera diubah menjadi oksigen oleh tumbuhan karena banyak hutan di seluruh dunia yang ditebang. Sebagaimana diuraikan diatas, hal demikian dapat mengakibatkan efek rumah kaca.

2. CO

Di lingkungan rumah dapat pula terjadi pencemaran. Misalnya, menghidupkan mesin mobil di dalam garasi tertutup. Jika proses pembakaran di mesin tidak sempurna, maka proses pembakaran

itu menghasilkan gas CO (karbon monoksida) yang keluar memenuhi ruangan. Hal ini dapat membahayakan orang yang ada di garasi tersebut. Selain itu, menghidupkan AC ketika tidur di dalam mobil dalam keadaan tertutup juga berbahaya. Bocoran gas CO dari knalpot akan masuk ke dalam mobil, sehingga dapat menyebabkan kematian.

3. CFC

Pencemara dara yang berbahaya lainnya adalah gas khloro fluoro karbon (disingkat CFC). Gas CFC digunakan sebagai gas pengembang, karena tidak beraksi, tidak berbau, tidak berasa, dan tidak berbahaya. Gas ini dapat digunakan misalnya untuk mengembangkan busa (busa kursi), untuk AC (freon), pendingin pada almari es, dan penyemprot rambut (hair spray). Gas CFC yang membumbung tinggi dapat mencapai stratosfer terdapat lapisan gas ozon (O₃). Lapisan ozon ini merupakan pelindung bumi dari pengaruh cahaya ultraviolet. Kalau tidakl ada lapisan ozon, radiasi cahaya ultraviolet mencapai permukaan bumi, menyebabkan kematian organisme, tumbuhan menjadi kerdil, menimbulkan mutasi genetik, menyebabkan kanker kulit atau kanker retina mata. Jika gas CFC mencapai ozon, akan terjadi reaksi antara CFC dan ozon, sehingga lapisan ozon tersebut “berlubang” yang disebut sebagai “lubang” ozon. Menurut pengamatan melalui pesawat luar angkasa, lubang ozon

di kutub Selatan semakin lebar. Saat ini luasnya telah melebihi tiga kali luas benua Eropa. Karena itu penggunaan AC harus dibatasi.

4. SO, SO₂

Gas belerang oksida (SO, SO₂) di udara juga dihasilkan oleh pembakaran fosil (minyak, batubara). Gas tersebut dapat beraksi dengan gas nitrogen oksida dan air hujan, yang menyebabkan air hujan menjadi asam. Maka terjadilah hujan asam.

Hujan asam mengakibatkan tumbuhan dan hewan-hewan tanah mati. Produksi pertanian merosot. Besi dan logam mudah berkarat. Bangunan - bangunan kuno, seperti candi, menjadi cepat aus dan rusak. Demikian pula bangunan gedung dan jembatan.

5. Asap Rokok

Polutan udara yang lain yang berbahaya bagi kesehatan adalah asap rokok. Asap rokok mengandung berbagai bahan pencemar yang dapat menyebabkan batuk kronis, kanker paru-paru, mempengaruhi janin dalam kandungan dan berbagai gangguan kesehatan lainnya.

Perokok dapat di bedakan menjadi dua yaitu perokok aktif dan perokok pasif. Perokok aktif adalah mereka yang merokok. Perokok pasif adalah orang yang tidak merokok tetapi menghirup asap rokok di suatu ruangan.

Menurut penelitian, perokok pasif memiliki risiko yang lebih

besar di bandingkan perokok aktif. Jadi, merokok di dalam ruangan bersama orang lain yang tidak merokok dapat mengganggu kesehatan orang lain.

Akibat yang ditimbulkan oleh pencemaran udara antara lain :

- Terganggunya kesehatan manusia, seperti batuk dan penyakit pernapasan (bronkhitis, emfisema), dan kemungkinan kanker paru-paru.
- Rusaknya bangunan karena pelapukan, korosi pada logam, dan memudarnya warna cat.
- Terganggunya pertumbuhan tanaman, seperti menguningnya daun atau kerdilnya tanaman akibat konsentrasi SO_2 yang tinggi atau gas yang bersifat asam.
- Adanya peristiwa efek rumah kaca (*green house effect*) yang dapat menaikkan suhu udara secara global serta dapat mengubah pola iklim bumi dan mencairkan es di kutub. Bila es meleleh maka permukaan laut akan naik sehingga mempengaruhi keseimbangan ekologi.

b. Pencemaran Air

Pencemaran air adalah peristiwa masuknya zat, energi, unsur, atau komponen lainnya ke dalam air sehingga menyebabkan kualitas air terganggu. Kualitas air yang terganggu ditandai dengan perubahan bau, rasa, dan warna. Ditinjau dari asal polutan dan sumber pencemarannya, pencemaran air dapat dibedakan antara lain :

a) Limbah Pertanian

Limbah pertanian dapat mengandung polutan insektisida atau pupuk organik. Insektisida dapat mematikan biota sungai. Jika biota sungai tidak mati kemudian dimakan hewan atau manusia sehingga akan keracunan. Untuk mencegahnya, upayakan agar memilih insektisida yang berspektrum sempit (khusus membunuh hewan sasaran) serta bersifat biodegradabel (dapat terurai oleh mikroba) dan melakukan penyemprotan sesuai dengan aturan. Jangan membuang sisa obat ke sungai. Sedangkan pupuk organik yang larut dalam air dapat menyuburkan lingkungan air (eutrofikasi). Karena air kaya nutrisi, ganggang dan tumbuhan air tumbuh subur (bloom). Hal yang demikian akan mengancam kelestarian bendungan. bendungan akan cepat dangkal dan biota air akan mati karenanya.

b) Limbah Rumah Tangga

Limbah rumah tangga yang cair merupakan sumber pencemaran air. Dari limbah rumah tangga cair dapat dijumpai berbagai bahan organik (misal sisa sayur, ikan, nasi, minyak, lemak, air buangan manusia) yang terbawa air got/parit, kemudian ikut aliran sungai.

Adapula bahan-bahan anorganik seperti plastik, aluminium, dan botol yang hanyut terbawa arus air. Sampah bertimbun, menyumbat saluran air, dan mengakibatkan banjir. Bahan pencemar lain dari limbah rumah tangga adalah pencemar biologis berupa bibit penyakit, bakteri, dan jamur.

Bahan organik yang larut dalam air akan mengalami penguraian dan pembusukan. Akibatnya kadar oksigen dalam air turun drastis sehingga biota air akan mati. Jika pencemaran bahan organik meningkat, kita dapat menemui cacing *Tubifex* berwarna kemerahan bergerombol. Cacing ini merupakan petunjuk biologis (bioindikator) parahnya pencemaran oleh bahan organik dari limbah pemukiman.

Di kota-kota, air got berwarna kehitaman dan mengeluarkan bau yang menyengat. Didalam air got yang demikian tidak ada organisme hidup kecuali bakteri dan jamur. Dibandingkan dengan limbah industri, limbah rumah tangga di daerah perkotaan di Indonesia mencapai 60% dari seluruh limbah yang ada.

c) Limbah Industri

Adanya sebagian industri yang membuang limbahnya ke air. Macam polutan yang dihasilkan tergantung pada jenis industri. Mungkin berupa polutan organik (berbau busuk), polutan anorganik (berbau, berwarna), atau mungkin berupa polutan yang mengandung asam belerang (berbau busuk), atau berupa suhu (air menjadi panas). Pemerintah menetapkan tata aturan untuk mengendalikan pencemaran air oleh limbah industri. Misalnya, limbah industri harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke sungai agar tidak terjadi pencemaran.

Di laut, sering terjadi kebocoran tangker minyak karena bertabrakan dengan kapal lain. Minyak yang ada di dalam kapal tumpah

menggenangi lautan dalam jarak ratusan kilometer. Ikan, terumbu karang, burung laut, dan hewan-hewan laut banyak yang mati karenanya. Untuk mengatasinya, polutan dibatasi dengan pipa mengapung agar tidak tersebar, kemudian permukaan polutan ditaburi dengan zat yang dapat menguraikan minyak

d) Penangkapan Ikan Menggunakan racun

perairan dan menurunkan sumber daya perairan. Sebagai penduduk dan nelayan ada yang menggunakan tuba (racun dari tumbuhan atau potas (racun) untuk menangkap ikan tangkapan, melainkan juga semua biota air. Racun tersebut tidak hanya hewan-hewan dewasa, tetapi juga hewan-hewan yang masih kecil. Dengan demikian racun yang disebarkan akan memusnahkan jenis makhluk hidup yang ada didalamnya. Kegiatan penangkapan ikan dengan cara tersebut mengakibatkan pencemaran di lingkungan.

c. **Pencemaran tanah**

Pencemaran tanah banyak diakibatkan oleh sampah-sampah rumah tangga, pasar, industri, kegiatan pertanian, dan peternakan. Sampah dapat dihancurkan oleh jasad-jasad renik menjadi mineral, gas, dan air, sehingga terbentuklah humus. Sampah organik itu misalnya dedaunan, jaringan hewan, kertas, dan kulit. Sampah-sampah tersebut tergolong sampah yang mudah terurai. Sedangkan sampah anorganik seperti besi, aluminium, kaca, dan bahan sintetik seperti plastik, sulit atau tidak dapat diuraikan. Bahan pencemar itu

akan tetap utuh hingga 300 tahun yang akan datang.

Sebaiknya, sampah yang akan dibuang dipisahkan menjadi dua wadah. Pertama adalah sampah yang terurai, dan dapat dibuang ke tempat pembuangan sampah atau dapat dijadikan kompos. Jika pembuatan kompos dipadukan dengan pemeliharaan cacing tanah, maka akan dapat diperoleh hasil yang baik. cacing tanah dapat dijual untuk pakan ternak, sedangkan tanah kompos dapat dijual untuk pupuk.

Proses ini merupakan proses pendaurulangan (*recycle*). Kedua adalah sampah yang tak terurai, dapat dimanfaatkan ulang (penggunaulangan = *reuse*). Misalnya, kaleng bekas kue digunakan lagi untuk wadah makanan, botol selai bekas digunakan untuk tempat bumbu dan botol bekas sirup digunakan untuk menyimpan air minum.

Baik pendaurulangan maupun penggunaulangan dapat mencegah terjadinya pencemaran lingkungan. Keuntungannya, beban lingkungan menjadi berkurang. Kita tahu bahwa pencemaran tidak mungkin dihilangkan. Yang dapat kita lakukan adalah mencegah dampak negatifnya atau mengendalikannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrews WA (1972). A Guide to the study of Environmental Pollution New Jersey: Prentice-Hall, inc
- Oj sumarpow (2001) Lingkungan hidup dan Senyawa Pencemar Lingkungan. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia
- Milner, GT, Jr (1979). Living in the Environment, Edition Belmont California: Wadsworth Publishing Company
- Wardhana Wisnu Arya (2001). Dampak Pencemaran Lingkungan Edisi Revisi Yogyakarta penerbit andi
- Vesilind, P Aarne. (1978). Environment pollution and control printing durham North carolina Ann Arbor science publishing inc
- Odum Ep. (1971) Pencemaran Lingkungan Biotik dan Abiotik Company

BAB V

FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI TOKSISITAS BAHAN PENCEMAR TERHADAP ORGANISME PERAIRAN

A. PENDAHULUAN

Ribuan jenis bahan pencemar terlepas ke lingkungan laut akibat aktivitas manusia (Blasco et al., 2016). Karakteristik air dan organisme dapat mempengaruhi toksisitas bahan pencemar tersebut (Rand & Petrocelli, 1985). Faktor-faktor yang mempengaruhi toksisitas tersebut terdiri dari faktor yang berhubungan dengan bahan pencemar (fisika-kimia) dan faktor yang berhubungan dengan organisme (biotik). Faktor fisika-kimia bahan pencemar meliputi konsentrasi, suhu, pH, salinitas, dan kesadahan. Faktor biotik meliputi spesies, umur, dan kondisi kesehatan organisme (Rand & Petrocelli, 1985).

Faktor lain yang dapat mempengaruhi toksisitas yaitu interaksi antar bahan pencemar (Landis & Yu 2004). Hal tersebut dilatar belakangi oleh fenomena bahwa organisme perairan jarang terpapar oleh satu jenis bahan pencemar saja melainkan bermacam bahan pencemar yang saling berinteraksi (Okamura & Aoyama 1994). Secara umum interaksi bahan pencemar dapat bersifat sinergis maupun antagonis, tergantung pada karakter fisika-kimia bahan pencemar dan kondisi fisiologis organisme yang terpapar (Landis & Yu, 2004). Pengetahuan mengenai faktor-faktor tersebut berguna antara lain dalam upaya untuk pemantauan dan pengendalian pencemaran di lingkungan pesisir dan lautan. Tulisan ini bertujuan untuk memberikan informasi singkat mengenai faktor-faktor

yang mempengaruhi toksisitas bahan pencemar terhadap organisme perairan secara umum.

B. PENGERTIAN TOKSISITAS

Toksistas merupakan hayati yang berguna untuk menentukan tingkat toksistas dari suatu zat atau bahan pencemar dan digunakan juga untuk memantau rutin suatu limbah. Limbah buangan menyebabkan rusaknya jaringan fisiologis pada organ tubuh yaitu hati dapat menyebabkan pembekakan sel insang dapat menyebabkan jaringan lamela sehingga menghambat pertukaran oksigen, ginjal dapat menyebabkan turunnya laju glomerulus sehingga kadar urea darah meningkat, dan usus dapat menyebabkan hipovitaminosis dan penurunan berat ikan. Kata kunci: toksistas, Limbah buangan, Organ ikan.

C. FAKTOR-FAKTOR TOKSISITAS

Yang mempengaruhi toksistas tersebut terdiri dari faktor yang berhubungan dengan bahan pencemar (fisika-kimia) dan faktor yang berhubungan dengan organisme (biotik). Faktor fisika-kimia bahan pencemar meliputi konsentrasi, suhu, pH, salinitas, dan kesadahan.

D. FAKTOR FISIKA-KIMIA BAHAN PENCEMAR KONSENTRASI BAHAN PENCEMAR

Menurut Landis & Yu (2004), konsentrasi bahan pencemar merupakan faktor penting yang mempengaruhi toksistas. Bahan pencemar dengan toksistas tinggi tidak akan terlalu memberi dampak terhadap organisme, apabila masih dalam konsentrasi sangat rendah. Sebaliknya bahan pencemar dengan toksistas rendah, akan berpengaruh buruk apabila dipaparkan dengan konsentrasi tinggi.

Faktor penting lain yang mempengaruhi toksisitas adalah lamanya pemaparan (durasi) bahan kimia terhadap organisme. Pemaparan yang lebih lama akan memberi dampak kronis yang lebih buruk terhadap organisme perairan (Rand & Petrocelli, 1985; Landis & Yu, 2004).

Ilustrasi hubungan antara konsentrasi bahan kimia dan respon yang ditimbulkan pada organisme dalam jangka waktu tertentu dapat dilihat pada Gambar 1. Hubungan konsentrasi-respon tersebut tidak bersifat linear, namun sigmoid. Secara umum, pada batas tertentu semakin besar konsentrasi bahan kimia, maka respon yang ditimbulkan akan lebih buruk (Rand & Petrocelli, 1985). Dua jenis bahan kimia yang berbeda, dapat menimbulkan respon yang berbeda pada organisme yang sama (Landis & Yu, 2004). Pada Gambar 1, terlihat bahwa LC50 senyawa 1 lebih kecil dibandingkan senyawa 2. Hal ini menunjukkan bahwa senyawa 1 bersifat lebih toksik dibandingkan senyawa 2.

E. SUHU/TEMPERATUR

Beberapa penelitian melaporkan bahwa bioakumulasi dan toksisitas bahan pencemar meningkat seiring dengan perubahan suhu (Heugens et al., 2003; Sokolova & Lannig, 2008; Zhou et al., 2014; Baines et al., 2006). Peningkatan suhu diketahui dapat menurunkan kandungan oksigen terlarut di perairan (Landis & Wu, 2004). Lewis et al. (2016) melaporkan bahwa toksisitas tembaga (Cu) terhadap isopoda *Exosphaeroma gigas* meningkat seiring dengan kenaikan suhu sebesar 10o C (Tabel 1). Toksisitas Cu meningkat (ditandai dengan semakin kecilnya nilai LC50) hingga > 44 % dari 2204 µg.L-1 pada suhu 5,5o C menjadi 1245 µg.L-1 pada suhu 15o C. Sementara itu, waktu yang dibutuhkan untuk

menyebabkan kematian (LCT50) pada konsentrasi Cu 2200 µg.L-1 menjadi dua kali lebih cepat. Dengan demikian, toksisitas suatu bahan pencemar akan meningkat seiring kenaikan suhu ditunjukkan dengan menurunnya nilai LC 50 dan LCT50.

Peningkatan bioakumulasi dan toksisitas bahan pencemar berkaitan dengan peningkatan aktivitas dan kinetik logam, serta peningkatan laju metabolisme di perairan yang lebih hangat (Robertson et al., 2001). Perubahan suhu juga mempengaruhi proses sintesis protein, respirasi dan transpor energi, serta kemampuan menghantarkan oksigen (Pörtner, 2001). Perubahan laju metabolisme dapat menyebabkan perubahan perilaku, misalnya pergerakan dan aktivitas makan yang mempengaruhi kemampuan mengakumulasi bahan pencemar (Sokolova & Lannig, 2008; Lewis et al., 2016). Peningkatan penyerapan bahan pencemar menyebabkan peningkatan akumulasi (Heugens et al., 2003; Mubiana & Blust, 2007; Sokolova & Lannig, 2008). Tekanan/stress akibat perubahan suhu juga dapat mengganggu kemampuan detoksifikasi bahan pencemar (Lannig et al., 2006). Hal ini berpotensi meningkatkan toksisitas (Lewis et al., 2016).

F. KADAR KEASAMAN

(pH) Penurunan pH di lingkungan perairan antara lain disebabkan oleh pengasaman (asidifikasi). Asidifikasi merupakan salah satu penyebab utama degradasi lingkungan, tidak hanya disebabkan oleh toksisitasnya, namun juga karena efeknya terhadap spesiasi, mobilitas, dan bioavailabilitas bahan kimia (Stumm & Morgan, 15 1996). Untuk sebagian organisme perairan, pH rendah

dapat meningkatkan toksisitas logam (Pynnönen, 1995). Adanya hubungan yang kuat antara penurunan pH dan peningkatan kelarutan ion logam dapat menyebabkan peningkatan bioakumulasi dan toksisitas (Campbell, 1995). Meski demikian, hubungan antara pH dan toksisitas logam sebenarnya jauh lebih rumit, tergantung pada ikatan kimia dan spesies logam (Sandifer & Hopkin, 1996). Henriksen et al. (1984) melaporkan bahwa toksisitas aluminium (Al) terhadap ikan salmon *Salmo gairdneri* meningkat pada pH rendah. Kondisi tersebut dijelaskan oleh Dietrich & Schlatter (1989) bahwa gangguan fisiologi yang terjadi pada pH rendah (5,4) meliputi hilangnya elektrolit, kerusakan sel, kerusakan pada insang yang menyebabkan gangguan proses pernafasan.

SALINITAS Salinitas berpengaruh pada toksisitas bermacam bahan pencemar, terutama logam terhadap organisme estuari dan laut (Grosell et al., 2007; Hall & Anderson, 1995). Pada beberapa penelitian, toksisitas logam menurun seiring dengan peningkatan salinitas, dimana kejadian sebaliknya juga teramati dan merupakan hal yang rumit (Grosell et al., 2007; Hall & Anderson, 1995). Salinitas tidak hanya mempengaruhi geokimia logam, tapi juga pada fisiologi organisme dan sensitivitasnya terhadap paparan logam (Grosell et al., 2007; Jones et al., 1976; Pinho & Bianchini, 2010). Hewan yang hidup di daerah estuari memiliki strategi yang berbeda untuk merespon variasi salinitas di lingkungan mereka. Hewan osmoregulator mampu dan secara aktif mengatur konsentrasi garam dalam cairan tubuhnya, serta menjaga agar tetap dalam kondisi stabil. Hewan lainnya yang tidak mampu menyesuaikan hal tersebut, akan tetap berupaya menjaga kondisi cairan dalam tubuhnya (isoosmotik) berbeda dengan lingkungan sekitarnya (Chen

et al., 2017). Pemaparan zink (Zn) terhadap kepiting pantai *Carcinus maenas* pada salinitas rendah (20 ppt) menyebabkan peningkatan penyerapan Zn yang mengarah pada gangguan keseimbangan Zn dan Ca pada proses osmoregulasi dalam tubuh hewan tersebut (Chen et al., 2017).

G. SALINITAS

Salinitas berpengaruh pada toksisitas bermacam bahan pencemar, terutama logam terhadap organisme estuari dan laut (Grosell et al., 2007; Hall & Anderson, 1995). Pada beberapa penelitian, toksisitas logam menurun seiring dengan peningkatan salinitas, dimana kejadian sebaliknya juga teramati dan merupakan hal yang rumit (Grosell et al., 2007; Hall & Anderson, 1995). Salinitas tidak hanya mempengaruhi geokimia logam, tapi juga pada fisiologi organisme dan sensitivitasnya terhadap pemaparan logam (Grosell et al., 2007; Jones et al., 1976; Pinho & Bianchini, 2010).

H. KESADAHAN

Kesadahan (hardness) memiliki beberapa kesamaan dengan alkalinitas, biasa diekspresikan sebagai konsentrasi kalsium karbonat (CaCO_3), meskipun kesadahan merupakan konsentrasi kation (Ca^{2+} dan Mg^{2+}), sedangkan alkalinitas merupakan konsentrasi anion (HCO_3^- dan CO_3^{2-}) (Weiner, 2000). Kesadahan berpengaruh terhadap toksisitas logam. Toksisitas logam akan menurun pada kondisi perairan dengan kesadahan tinggi (Rand & Petrocelli, 1985). Markich (2013) melaporkan bahwa peningkatan kesadahan sebesar 20 kali lipat menyebabkan toksisitas uranium (U) makrofita *Ceratophyllum demersum* berupa inhibisi pertumbuhan menurun, hingga empat kali.

I. FAKTOR BIOTIK

Menurut Rand & Petrocelli (1985), setiap spesies memiliki sensitivitas yang berbeda terhadap bahan kimia. Hal ini disebabkan oleh perbedaan kemampuan dalam merespon bahan kimia tersebut. Beberapa spesies mampu melindungi dirinya sendiri dari paparan bahan pencemar untuk waktu yang singkat, misalnya kerang-kerangan mampu menutup cangkangnya dan tetap bermetabolisme dalam kondisi anaerob selama beberapa waktu. Wang et al. (2010) menjelaskan, bahwa invertebrata dan ikan laut memiliki kisaran sensitivitas yang berbeda terhadap kadmium (Cd) (Gambar 2). Toksisitas Cd (LC50) terhadap 61 genus invertebrata dan ikan laut bervariasi hingga 105 kali lipat, yakni berkisar antara 41,29 µg.L-1 untuk krustasea kecil, *Americamysis bahia* hingga 135 mg.L-1 untuk cacing, *Monopylephorus cuticulatus*. Mysid, lebih sensitif 3270 kali lipat dibandingkan cacing oligochaete. LC50 Cd untuk polychaeta berkisar antara 200 ug/L, *Capitella capitata* hingga 135000 µg.L-1 untuk *Monopylephorus cuticulatus*. LC50, moluska berkisar antara 228 µg.L-1, Pasific oyster, *Crassostrea gigas* hingga 19170 µg.L-1, siput lumpur, *Nassarius obsoletus*. LC50, 12 spesies ikan berkisar antara 75 µg.L-1, ikan kakap, *Morone saxatilis* hingga 50 mg.L-1, dan untuk sheephead minnow, *Cyprinodon variegates*

Menurut Rand & Petrocelli (1985), organisme yang masih muda pada umumnya lebih rentan dan sensitif terhadap bahan pencemar dibandingkan organisme dewasa, hal ini disebabkan oleh perbedaan tingkat perkembangan mekanisme detoksifikasi antara organisme muda dan dewasa. Perbedaan dalam laju ekskresi juga berpengaruh terhadap kemampuan merespon dan mengeluarkan bahan

pencemar. Untuk jenis Artropoda (krustasea) tahapan yang paling sensitif adalah pada saat molting (berganti cangkang) dan pada ikan adalah tahapan embrio-larva, serta juvenil awal. Pola makan organisme perairan dapat mempengaruhi efek toksisitas dengan cara menghasilkan perubahan pada komposisi tubuh, fungsi fisiologi dan biokimia, serta kondisi nutrisi organisme tersebut (Rand & Petrocelli 1985).

J. INTERAKSI BAHAN PENCEMAR

Biota laut lebih sering terpapar pada bermacam bahan pencemar dibandingkan hanya pada satu jenis bahan pencemar. Hampir pada setiap kasus pencemaran lingkungan perairan umumnya selalu berkaitan dengan efek interaktif lebih dari satu jenis bahan pencemar (Okamura & Aoyama, 1994). Secara umum, efek interaktif bahan pencemar dapat berupa efek sinergis atau antagonis (berlawanan), bergantung pada jenis bahan pencemar dan kondisi organisme yang terpapar. Efek sinergis merupakan efek toksisitas gabungan dua atau lebih bahan pencemar, dimana pengaruh toksisitas akan lebih besar dibandingkan hanya satu jenis bahan pencemar. Sebaliknya, efek antagonis terjadi pada kondisi dimana pengaruh toksisitas dua atau lebih bahan pencemar, akan lebih rendah dibandingkan efek yang terjadi pada pemaparan satu jenis bahan pencemar (Landis & Yu, 2004).

Kajian terhadap efek sinergis bahan pencemar antara lain dilakukan oleh Clemow & Wilkie (2015) yang meneliti pengaruh kadmium (Cd) dan timbal (Pb) terhadap kemampuan bertahan hidup (survival) ikan trout pelangi, *Onchorhyncus mykiss*. Pada Gambar 3 disajikan grafik persentase kemampuan bertahan hidup

ikan *O. mykiss* yang dipelihara dalam larutan kontrol, larutan Cd dan Pb yang dipaparkan terpisah, serta larutan berisi campuran Cd dan Pb dengan konsentrasi tertentu selama 120 jam. Seluruh ikan pada larutan kontrol mampu tetap bertahan hidup hingga akhir pengujian, sedangkan persentase ikan pada larutan uji Cd dan Pb yang dipaparkan sendiri-sendiri, masing-masing hanya 48 % dan 85 % yang mampu bertahan hidup. Sementara itu campuran Cd dan Pb menunjukkan efek sinergis yang lebih besar dibandingkan efek dari hanya satu jenis logam saja. Efek ini menyebabkan persentase bertahan hidup ikan menurun drastis hingga 16 %, selama 120 jam pemaparan.

Soal Latihan:

- 1. Pada kondisi apakah efek antagonis dapat terjadi?*
- 2. Sebutka 2 efek sinergis yang menyusun efek interaktif bahan pencemar?*
- 3. Pengaruh kadmium (Cd) dan timbal (Pb) terhadap kemampuan bertahan hidup (survival) ikan trout pelangi, *Onchorhyncus mykiss* dilakukan untuk mengkaji efek?*
- 4. Sebutkan tantangan masa depan ahli toksikologi!*

DAFTAR PUSTAKA

- Baines, S.B., N.S. Fisher and E.L. Kinney. 2006. Effects of temperature on uptake of aqueous metals by blue mussels *Mytilus edulis* from Arctic and temperate waters. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 308, 117–128.
- Blasco, J., P.M. Chapman, O. Campana and M. Hampel, 2016. *Marine Ecotoxicology : Current Knowledge and Future Issues*. Blasco et al. (eds). Academic Press. London. pp. 321.
- Chen, W., W. Wang and Q. Tan. 2017. Revealing the complex effects of salinity on copper toxicity in an estuarine clam *Potamocorbula laevis* with a toxicokinetic-toxicodynamic model. *Environmental Pollution*. 222: 323–330.
- Clemow, Y.H. and P. M. Wilkie. 2015. Effects of Pb plus Cd mixtures on toxicity, and internal electrolyte and osmotic balance in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquatic Toxicology*. 161 : 176–188.
- Dietrich, D. and C. Schlatter. 1989. Aluminium toxicity to rainbow trout at low pH. *Aquat. Toxicol.* 15:197–212.
- Grosell, M., J. Blanchard, K.V. Brix and R. Gerdes 2007. Physiology is pivotal for interactions between salinity and acute copper toxicity to fish and invertebrates. *Aquat. Toxicol.* 84: 162-172.
- Hall, L.W. and R.D. Anderson. 1995. The influence of salinity on the toxicity of various classes of chemicals to aquatic biota. *Crit. Rev. Toxicol.* 25: 281-346.

BAB VI

BERBAGAI BENTUK TOKSISITAS DI UDARA DAN PENYEBARANNYA

A. Pengertian Udara

Udara merupakan faktor yang penting dalam kehidupan, namun dengan meningkatnya pembangunan fisik kota dan pusat – pusat industri, kualitas udara telah mengalami perubahan. Udara yang dulunya segar, kini kering dan kotor. Keadaan ini apabila tidak segera di tanggulangi dapat membahayakan kesehatan manusia, kehidupan hewan, serta tumbuhan .

Udara merupakan campuran gas yang terdapat pada lapisan yang mengelilingi bumi. Komposisi campuran gas tersebut tidak selalu konstan. Komponen yang konsentrasinya paling bervariasi adalah air dalam bentuk uap H₂O dan karbon dioksida. Jumlah uap air yang ada di udara bervariasi bergantung pada cuaca dan suhu. Udara di alam tidak pernah ditemukan bersih tanpa polutan sama sekali. Beberapa gas seperti sulfur dioksida (SO₂), hidrogen sulfida (H₂S), dan karbon monoksida (CO) selalu dibebaskan ke udara sebagai produk sampingan dari proses-proses alami seperti aktivitas vulkanik, pembusukan sampah tanaman, kebakaran hutan dan sebagainya. Selain itu, partikel-partikel padatan atau cairan berukuran kecil dapat tersebar di udara oleh angin, letusan vulkanik atau gangguan alam lainnya. Selain disebabkan polutan alami tersebut, polusi udara juga dapat disebabkan oleh aktivitas manusia

Perubahan lingkungan udara disebabkan pencemaran udara, yaitu masuknya zat pencemar (berbentuk gas – gas dan partikel kecil / aerosol)

kedalam udara. Zat pencemar masuk kedalam udara dapat secara alamiah (asap kebakaran hutan, akibat gunung berapi, debu meteorit, dan pancaran garam dari laut) dan aktivitas manusia (transportasi, industri pembuangan sampah). Konsentrasi pencemaran udara di beberapa kota besar dan daerah industri Indonesia menyebabkan adanya gangguan pernafasan, iritasi pada mata dan telinga, timbulnya penyakit tertentu serta gangguan jarak pandang.

Pembahasan dibawah ini bertujuan untuk mengetahui gambaran secara umum tentang udara dan permasalahannya serta mengetahui tentang upaya - upaya dalam pengendalian pencemaran udara.

B. Sumber Pencemaran Udara

Sumber pencemaran dapat merupakan kegiatan yang bersifat alami dan kegiatan antropogenik. Contoh sumber alami adalah akibat letusan gunung berapi, kebakaran hutan, dekomposisi biotik, debu, spora tumbuhan dan lain sebagainya. Pencemaran akibat kegiatan manusia secara kuantitatif sering lebih besar, misalnya sumber pencemar akibat aktivitas transportasi, industri, persampahan baik akibat proses dekomposisi ataupun pembakaran dan rumah tangga .

Pencemaran udara akibat kegiatan transportasi yang sangat penting adalah akibat kendaraan bermotor di darat yang menghasilkan gas CO, Nox, hidrokarbon, SO₂ dan Tetraethyl lead, yang merupakan bahan logam timah yang ditambahkan kedalam bensin berkualitas rendah untuk meningkatkan nilai oktan guna mencegah terjadinya letupan pada mesin. Parameter penting akibat aktivitas ini adalah CO, Partikulat, NOx, HC, Pb , dan SOx.

Emisi pencemaran udara oleh industri sangat tergantung dari jenis industri dan prosesnya, peralatan industri dan utilitasnya. Berbagai industri dan pusat pembangkit tenaga listrik menggunakan tenaga dan panas yang berasal dari pembakaran arang dan bensin. Hasil sampingan dari pembakaran adalah SO_x, asap dan bahan pencemar lain.

Proses pembakaran sampah walaupun skalanya kecil sangat berperan dalam menambah jumlah zat pencemar diudara terutama debu dan hidrokarbon. Hal penting yang perlu diperhitungkan dalam emisi pencemaran udara oleh sampah adalah emisi partikulat akibat pembakaran, sedangkan emisi dari proses dekomposisi yang perlu diperhatikan adalah emisi HC dalam bentuk gas metana.

C. Faktor – faktor yang mempengaruhi Pencemaran Udara

Menurut Candra (2006), pencemaran udara yang terjadi di permukaan bumi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya faktor meteorologi dan iklim serta faktor topografi.

1. Meteorologi dan Iklim

Variabel yang termasuk didalam faktor meteorologi dan iklim, antara lain :

a. Temperature

Pergerakan mendadak lapisan udara dingin ke suatu kawasan industri dapat menimbulkan temperatur inversi. Dengan kata lain, udara dingin akan terperangkap dan tidak dapat keluar dari kawasan tersebut dan cenderung menahan polutan tetap berada di lapisan permukaan bumi sehingga konsentrasi polutan di kawasan tersebut semakin lama semakin tinggi. Dalam keadaan tersebut, di permukaan bumi dapat dikatakan tidak

terdapat pertukaran udara sama sekali. Karena kondisi itu dapat berlangsung sampai beberapa hari atau beberapa minggu, udara yang berada dekat permukaan bumi akan penuh dengan polutan dan dapat menimbulkan keadaan yang sangat kritis bagi kesehatan. Contoh, kota Tokyo pada tahun 1970 diselimuti oleh kabut tebal penuh dengan polutan sampai beberapa minggu sehingga lebih dari 8000 penduduknya menderita infeksi saluran pernafasan atas, sakit mata, dan lain-lain.

b. Arah dan kecepatan angin

Kecepatan angin yang kuat akan membawa polutan terbang kemana-mana dan dapat mencemari udara negara lain. Kondisi semacam ini pernah dialami oleh negara-negara di daratan Eropa. Contoh lainnya adalah kebakaran hutan di Indonesia yang menyebabkan kabut asap di negara Malaysia dan Singapura. Sebaliknya, apabila kecepatan angin lemah, polutan akan menumpuk di tempat dan dapat mencemari udara permukiman yang terdapat di sekitar lokasi pencemaran tersebut.

c. Hujan

Air hujan, sebagai pelarut umum, cenderung melarutkan bahan polutan yang terdapat dalam udara. Kawasan industri yang menggunakan batubara sebagai sumber energinya berpotensi menjadi sumber pencemar udara di sekitarnya. Pembakaran batubara akan menghasilkan gas sulfur dioksida apabila bercampur dengan air

hujan akan membentuk asam sulfat sehingga air hujan menjadi asam, biasa disebut hujan asam.

D. Jenis Pencemar Udara

Dilihat dari ciri fisik, bahan pencemar dapat berupa:

- a. Partikel (debu, aerosol, timah hitam)
- b. Gas (CO, NO_x, SO_x, H₂S dan HC)
- c. Energi (suhu dan kebisingan).

Berdasarkan dari kejadian, terbentuknya pencemar terdiri dari :

- a. Pencemar primer (yang diemisikan langsung dari sumbernya)
- b. Pencemar sekunder (yang terbentuk karena reaksi di udara antara berbagai zat)

Pola emisi akan menggolongkan pencemar dari sumber titik (point source), sumber garis (line source) dan sumber area (area source). Dilihat secara kimiawi, banyak sekali macam bahan pencemar tetapi yang biasanya menjadi perhatian adalah pencemar utama (major air pollutants) yaitu golongan oksida karbon (CO, CO₂) , oksida belerang (SO₂, SO₃) dan oksida nitrogen (N₂O, NO, NO₃) senyawa hasil reaksi fotokimia, partikel (asap, debu, asbestos, metal, minyak, garam sulfat), senyawa inorganik (HF, H₂S, NH₃, H₂SO₄, HNO₃), hidrokarbon (CH₄, C₄H₁₀) unsur radio aktif (titanium, Radon), energi panas (suhu, kebisingan).

Gas diudara dengan reaksi fotokimia dapat membentuk bahan pencemar sekunder, misalnya peroxy radikal dengan oksigen akan membentuk ozon dan nitrogen dioksida berubah menjadi nitrogen monoksida dengan oksigen

dan sebagainya. Pemaparan terhadap manusia pada umumnya melalui pernafasan dan cara penanggulangannya terutama dengan mengurangi pembebasan bahan pencemar secara langsung keudara, misalnya dengan menggunakan “ gas scrubber “, alat tambahan pada knalpot dan lain – lain.

Partikel dengan ukuran antara $0,01 - 5 \mu\text{m}$ merupakan sumber pencemar udara yang utama karena keadaanya tidak terlihat secara nyata dan terus berada pada atmosfer untuk waktu yang cukup lama. Dampak negatif dari bahan – bahan ini biasanya berupa gangguan pada bahan – bahan bangunan, tanaman, hewan serta manusia .

E. Dampak Pencemaran Udara

Pencemaran udara pada dasarnya berbentuk partikel (debu, aerosol, timah hitam) dan gas (CO , NO_x , SO_x , H_2S , hidrokarbon). Udara yang tercemar dengan partikel dan gas ini dapat menyebabkan gangguan kesehatan yang berbeda tingkatan dan jenisnya, tergantung dari macam, ukuran dan komposisi kimiawinya . Gangguan tersebut terutama terjadi pada fungsi faal dari organ tubuh seperti paru – paru dan pembuluh darah atau menyebabkan iritasi pada mata dan kulit .

Pencemaran udara karena partikel debu biasanya menyebabkan penyakit pernafasan kronis seperti bronchitis khronis, emfisema (penggelembungan rongga atau jaringan karena gas atau udara didalamnya; busung angin) , paru, asma bronkial dan kanker paru.

Pencemar gas yang terlarut dalam udara dapat langsung masuk kedalam tubuh sampai ke paru – paru yang pada akhirnya diserap oleh sistem peredaran darah.

Kadar timah (Pb) yang tinggi di udara dapat mengganggu pembentukan sel darah merah. Gejala keracunan dini mulai ditunjukkan dengan terganggunya fungsi enzim untuk pembentukan sel darah merah, yang pada akhirnya dapat menyebabkan gangguan kesehatan lainnya seperti anemia , kerusakan ginjal, dan lain – lain. Sedangkan keracunan Pb bersifat akumulatif. Keracunan gas CO timbul akibat terbentuknya karboksihemoglobin (COHb) dalam darah. Afinitas CO yang lebih besar dibandingkan dengan oksigen (O_2) terhadap Hb menyebabkan fungsi Hb untuk membawa oksigen keseluruh tubuh menjadi terganggu. Berkurangnya penyediaan oksigen kedalam tubuh akan membuat sesak nafas, dan dapat menyebabkan kematian, apabila tidak segera mendapat udara segar . Bahan pencemar SO_x , NO_x , H_2S dapat merangsang saluran pernafasan yang mengakibatkan iritasi dan peradangan.

F. Pengendalian Pencemaran Udara

Upaya pengendalian pencemaran udara dapat dilakukan melalui :

➤ Penelitian dan pemantauan

Pengendalian pengelolaan perlu mempertimbangkan keserasian antara faktor sumber emisi, dampak, kondisi sosial, ekonomi, dan politik serta melakukan pengukuran lapangan sesuai dengan kondisi.

Langkah pertama, dalam pengelolaan pencemaran udara adalah dengan melakukan pengkajian/identifikasi mengenal macam sumber,

model dan pola penyebaran serta pengaruhnya / dampaknya. Sumber pencemaran udara yang sering dikenal dengan sumber emisi adalah tempat dimana pencemaran udara mulai dipancarkan keudara.

Soal Latihan:

- 1. Jelaskan dampak pencemaran udara bagi Kesehatan manusia !*
- 2. Jelaskan dampak pencemaran udara bagi hewan!*
- 3. Jelaskan dampak pencemaran udara bagi tumbuhan!*
- 4. Jelaskan upaya-upaya penanggulangan pencemaran udara!*

DAFTAR PUSTAKA

Navis, M.L., and Cornwell, D.A., "Introduction Environmental Engineering
"Second Edition

McGraw-Hill International Editions, Tokyo. Fardiaz, S., 1992, "Polusi air dan
udara " cetakan ke-9, Kanisius, Yogyakarta .

Hadiyanto, A., dan Sasongko, D.P., 1998, "Buku Teks

; Pengendalian Pencemaran Udara " , Pusat Studi lingkungan Direktorat Jenderal
Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan dan Kebudayaan ,
Jakarta.

Nevers de., N., 2000, "Air Pollution Control Engineering " , Second Edition ,
McGraw- Hill International Editions, Tokyo

Soedomo, M., 2001, "Pencemaran Udara (Kumpulan karya ilmiah), ITB press,
Bandung

Wark, K, and Warner,C.F., 1981, " Air Pollution its Origin and Control " Second
Edition , Harper & Row, Publishers, New York

BAB VII

PENGARUH TOKSISITAS DI UDARA TERHADAP LINGKUNGAN

A. PENCEMARAN UDARA

Pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi atau komponen lain ke dalam udara oleh kegiatan manusia, sehingga melampaui baku mutu udara yang telah ditetapkan [6]. Sumber pencemaran udara dapat dibagi menjadi 3 yaitu: (1) sumber perkotaan dan industri; (2) sumber pedesaan/pertanian; (3) sumber alami. Sumber perkotaan dan industri ini berasal dari kemajuan teknologi yang mengakibatkan banyaknya pabrik - pabrik industri, pembangkit listrik dan kendaraan bermotor. Sumber pencemaran udara untuk wilayah pedesaan/pertanian yaitu dengan penggunaan pestisida sebagai zat senyawa kimia (zat pengatur tumbuh dan perangsang tumbuh), virus dan zat lain - lain yang digunakan untuk melakukan perlindungan tanaman atau bagian tanaman. Sedangkan sumber alami berasal dari alam seperti abu yang dikeluarkan akibat gunung berapi, gas - gas vulkanik, debu yang bertiupan akibat tiupan angin, bau yang tidak enak akibat proses pembusukan sampah organik dan lainnya (Abidin, 2019).

Berdasarkan Undang - Undang Pokok Pengolahan Lingkungan Hidup No. 4 Tahun 1982, pencemaran lingkungan atau polusi adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat energi, dan atau komponen lain ke dalam lingkungan, atau berubahnya tatanan lingkungan oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam sehingga kualitas lingkungan menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai peruntukannya. Baku mutu udara ambien merupakan suatu

ukuran pada batas atau kadar zat, energi, dan/atau komponen yang ada atau yang seharusnya ada dan/atau unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam udara ambien. Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.41 Tahun 1999 yaitu suatu angka yang tidak mempunyai satuan yang dimana dapat menggambarkan kondisi mutu udara ambien di suatu lokasi tertentu, yang didasarkan oleh adanya dampak pada kesehatan manusia, nilai estetika dan makhluk hidup lainnya (Abidin, 2019)

Udara yang telah terkontaminasi zat pencemar disebut udara tercemar yang dapat merusak lingkungan dan kehidupan manusia. Pencemaran udara semakin memburuk seiring dengan kemajuan teknologi, dimana dengan kemajuan teknologi sehingga sumber penghasil polusi udara semakin meningkat. Berikut kondisi pencemaran udara di Indonesia berdasarkan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) yang diakses tanggal 10 Agustus 2019 (Abidin, 2019).

C. ZAT-ZAT POLUTAN

Pencemaran udara disebabkan oleh zat-zat pencemar udara atau yang biasa disebut dengan polutan. Setiap polutan memiliki dampak yang berbeda-beda antara jenis satu dengan jenis yang lainnya. Zat yang dapat menyebabkan pencemaran udara diantara: *Karbon Monoksida (CO)*, *Karbon Dioksida (CO₂)*, *Sulfur Dioksida (SO₂)*, *Nitrogen Dioksida (NO₂)*, *Hidrokarbon (HC)*, *Chlorouorocarbon (CFC)*, *Timbal (Pb)*, dan *Partikular (PM₁₀)*. Zat polutan di udara bebas memiliki beberapa sifat bentuknya yaitu ada memiliki bau, ada yang tidak memiliki bau, dapat dilihat, tidak dapat dilihat, dan berwarna atau tak berwarna (Abidin, 2019).

D. DAMPAK PENCEMARAN UDARA

Ada banyak dampak yang dihasilkan dari pencemaran udara diantaranya: mengganggu kesehatan makhluk hidup, kerusakan lingkungan ekosistem, dan hujan asam. Kesehatan pada manusia akan terganggu akibat udara yang tercemar yang bisa mengakibatkan timbulnya penyakit seperti infeksi saluran pernapasan, paru - paru, jantung dan juga sebagai pemicu terjadinya kanker yang sangat berbahaya. Selanjutnya efek yang ditimbulkan pada lingkungan ekosistem adalah kerusakan dimana lingkungan ekosistem tempat tinggal berbagai macam makhluk hidup seperti akibat kebakaran hutan merusak tumbuh-tumbuhan dan hewan. Sedangkan hujan asam disebabkan oleh belerang (sulfur) yang merupakan polutan dalam bahan bakar fosil serta nitrogen di udara yang bereaksi dengan oksigen membentuk sulfur dioksida dan nitrogen dioksida. Polutan tersebut berasal dari knalpot mobil dan industri yang menggunakan bahan bakar minyak dan batubara. Di atmosfer, polutan tersebut membentuk asam sulfat (H_2SO_4) dan asam nitrat (HNO_3). Akhirnya mereka jatuh ke tanah sebagai hujan asam. Selanjutnya yang terjadi adalah bencana bagi kehidupan makhluk hidup. Sebagai contoh peristiwa kebakaran yang terjadi di Kalimantan dan Pekanbaru tentunya mengakibatkan kondisi udara yang sangat membahayakan kesehatan. Masyarakat akan terjangkit penyakit infeksi saluran pernapasan (ISPA) akibat menghirup udara yang bercampur asap hasil kebakaran hutan (Abidin, 2019).

E. KESADARAN MASYARAKAT

Kesadaran adalah sadar akan perilaku atau perbuatan yang dilakukan. Kesadaran tentang lingkungan hidup mencakup banyak segi, antara lain segi kognitif (pengetahuan dan ketrampilan), segi afektif (sikap), dan segi perilaku seseorang ketika terlibat dalam sebuah aksi lingkungan secara perorangan atau kelompok. Melalui pendidikan formal maupun non formal kesadaran tersebut dapat dicapai. Menjaga lingkungan di sekitar kita merupakan aspek dasar yang harus dimiliki oleh semua orang. Banyak cara sederhana yang dapat dilakukan oleh manusia untuk menjaga lingkungan diantaranya dengan membuang sampah pada tempatnya, melakukan penghijauan dengan menanam kembali tumbuhan atau pohon baik disekitar rumah, pinggir jalan maupun hutan (Abidin, 2019).

Dengan adanya penghijauan dapat memberikan udara yang segar dan membantu mengurangi efek dari pencemaran udara. Tentunya dalam mewujudkan lingkungan yang bersih perlu adanya kesadaran bagi semua pihak baik itu masyarakat, pemerintah maupun penghasil limbah polusi udara, agar dapat bersama-sama menjaga dan mengatasi pencemaran udara (Abidin, 2019).

DAFTAR PUSTAKA

1. Ariens,E.J., Mutschler,E., Simonis,A.M.,1985, Toksikologi Umum, Pengantar, Wattimena,Y.R.(terj.), Gadjah Mada University Press,Yogyakarta.
2. Hardman J.G., Goodman Gilman, A., Limbird, L.E., 1996, Goodman & Gilman's, The pharmacological Basis of Therapeutics, 9th edn, Mc Graw-Hill, New York
3. Ling, L.J., 2000, Toxikology Secrets, Hanley & Belfus, Inc. Philadelphia
4. Loomis, T.A., 1978, Toksikologi Dasar, Donatus, A. (terj.) IKIP Semarang Press, Semarang
5. Lu, F.C., 1995, Toksikologi Dasar, Asas, Organ Sasaran, dan Penilaian Resiko, Nugroho, E. (terj.), UI Press, Jakarta
6. Nasruddin, at al. 2019. Toksikologi Industri. Universitas halu oleo kendari.
7. Jainal Abidin, Ferawati Artauli Hasibuan. 2019. *PENGARUH DAMPAK PENCEMARAH UDARA TERHADAP KESEHATAN UNTUK MENAMBAH PEMAHAMAN MASYARAKAT AWAM TENTANG BAHAYA DARI POLUSI UDARA*. Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Graha Nusantara.

Soal Latihan:

1. *Jelaskan pengertian udara ambien menurut perundang-undangan di Indonesia!*
2. *Sebutkan unsur-unsur pencemar udara!*
3. *Sebutkan contoh-contoh pencemaran udara!*
4. *Jelaskan pendapat anda sebagai seorang sanitarian terkait cara merubah perilaku masyarakat untuk menjaga kualitas udara agar tidak tercemar!*

BAB VIII

KUALITAS UDARA AMBIEN DAN PEMERIKSAANNYA

A. Udara Ambien

Menurut PP No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, udara ambien adalah udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfir yang berada di dalam wilayah yurisdiksi Republik Indonesia yang dibutuhkan dan mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup, dan unsur lingkungan hidup lainnya. Unsur-unsur berbahaya yang masuk ke dalam atmosfer dapat berupa Karbonmonoksida (CO), Nitrogendioksida (NO₂), Sulfurdioksida (SO₂), Hidrokarbon (HC), dan lain-lain, (Republik Indonesia, 1999).

B. Pemantauan Kualitas Udara Ambien

Dalam Keputusan Gubernur DIY Nomor 153 Tahun 2002 tentang Baku Mutu Udara Ambien, Udara Ambien diartikan sebagai udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfer yang dibutuhkan dan mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup dan unsur lingkungan hidup lainnya. Udara merupakan salah satu sumberdaya alam non hayati yang di dalam ekosistem mempunyai hubungan timbal balik dengan makhluk hidup, baik itu manusia, hewan, tumbuhan maupun mikroba. Seluruh makhluk hidup termasuk manusia memerlukan udara yang bersih dan sehat, dan tidak terganggu oleh pencemaran yang tidak membuat nyaman, (Republik Indonesia, 1999).

C. Sumber Pencemaran Udara

Sumber pencemaran udara secara umum terdiri atas sumber bergerak dan sumber tidak bergerak. Sumber bergerak terkait dengan kegiatan transportasi yang menggunakan bahan bakar minyak. Sementara, sumber tidak bergerak terkait dengan pembakaran bahan bakar industri untuk proses industri. Sumber pencemaran udara lainnya berasal dari sektor domestik, seperti pembakaran sampah rumah tangga dan asap rokok, (Republik Indonesia, 1999).

D. Baku Mutu Udara Ambien

Baku mutu udara ambien untuk SO_2 sebesar $632 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$, NO_2 sebesar $316 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$, CO sebesar $15000 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$, dan HC sebesar $160 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Pencemaran udara ambien dirasakan semakin hari semakin meningkat, terutama di kawasan perumahan, kawasan industri, dan kawasan padat lalu lintas, dimana di kawasankawasan tersebut banyak terjadi kegiatan manusia. Pencemaran udara ambien dapat pula menimbulkan dampak terhadap lingkungan alam, antara lain: hujan asam, penipisan lapisan ozon dan pemanasan global, (Republik Indonesia, 1999).

Soal Latihan:

- 1. Jelaskan pengertian udara ambien menurut perundang-undangan di Indonesia!*
- 2. Sebutkan unsur-unsur yang dapat merusak lapisan atmosfer!*
- 3. Sebutkan contoh-contoh pencemaran udara!*
- 4. Jelaskan pendapat anda sebagai seorang sanitarian terkait solusi yang bisa diterapkan terhadap pencemaran udara di lingkungan kerja!*

DAFTAR PUSTAKA

1. Ariens,E.J., Mutschler,E., Simonis,A.M.,1985, Toksikologi Umum, Pengantar, Wattimena,Y.R.(terj.), Gadjah Mada University Press,Yogyakarta.
2. Hardman J.G., Goodman Gilman, A., Limbird, L.E., 1996, Goodman & Gilman's, The pharmacological Basis of Therapeutics, 9th edn, Mc Graw-Hill, New York
3. Ling, L.J., 2000, Toxikology Secrets, Hanley & Belfus, Inc. Philadelphia
4. Loomis, T.A., 1978, Toksikologi Dasar, Donatus, A. (terj.) IKIP Semarang Press, Semarang
5. Lu, F.C., 1995, Toksikologi Dasar, Asas, Organ Sasaran, dan Penilaian Resiko, Nugroho, E. (terj.), UI Press, Jakarta
6. Nasruddin, at al. 2019. Toksikologi Industri. Universitas halu oleo kendari.
7. Republik Indonesia. 1999. Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara. Lembaran Negara RI Tahun 1999, No. 86. Sekretariat Negara. Jakarta.

BAB IX

KASUS KERACUNAN LOGAM BERAT

A. Kasus Logam Berat Global

Kejadian keracunan akibat logam berat ,tercatat pernah beberapa kali terjadi. Kejadian di Jepang, tepatnya di Minamata adalah salah satu peristiwa keracunan yang terbesar, yang disebabkan polusi pengolahan limbah industri yang mengandung methylmercury di air danau dan mencemari ikan-ikan yang ada. Beberapa bayi dengan kerusakan otak parah diyakini telah lahir akibat ibu yang makan ikan yang terkontaminasi merkuri .

Sementara itu, di Irak, Guatemala dan Pakistan, ribuan orang telah meninggal karena konsumsi sereal yang terkontaminasi methylmercury yang berasal dari racun serangga (O'Neill, 1994 dalam Adhani & Husaini, 2017).

Kasus-kasus di atas menunjukkan bahwa faktor penyebab kasus keracunan adalah konsumsi makanan yang terkontaminasi Hg organik industri. Ini merupakan temuan penting bahwa limbah yang mengandung Hg dari kegiatan industri juga dapat terjadi di perusahaan pertambangan logam; setelah memasuki sistem perairan, dapat diserap oleh organisme di dalamnya dan kemudian melalui metilasi dalam tubuh organisme berkembang menjadi methylmercury yang beracun (O'Neill, 1994 dalam Adhani & Husaini, 2017).

B. Kasus Logam Berat di Indonesia

Ada dua kasus pencemaran merkuri yang terdokumentasi di Indonesia, yakni Tegal dan Jombang. Di Tegal, penduduk desa telah bekerja selama lebih dari setengah abad dengan limbah logam daur ulang. Sayangnya, proses menghilangkan karang gigi dan abu tidak sesuai, sehingga asap yang membakar dan bau menyengat menyebar ke seluruh desa. Konsentrasi timbal yang tinggi telah terdeteksi di daerah pemukiman. Hal ini karena limbah timbal bersifat racun dan dapat menumpuk di dalam tubuh. Sedangkan di Jombang pencemar yang terdispersi adalah limbah B3 berupa lumpur dan terak dari kegiatan peleburan logam. Sama seperti di Tegal, bau kotorannya menyengat. Limbah B3 juga bersifat reaktif, korosif dan beracun. Menurut Sukandar, kedua kasus tersebut

hanyalah kasus ringan. Ada banyak kasus serupa, bahkan lebih besar, yang terjadi di Indonesia (Permana, 2021).

C. Kasus Logam Berat di Provinsi Gorontalo

Beberapa penelitian mengenai cemaran logam berat tercatat pernah dilakukan di Provinsi Gorontalo. Diantaranya:

- a. Badjeber dkk (2015), melakukan penelitian mengenai tingkat kandungan sianida (CN^-) di Sungai Bone. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi (CN^-) di Sungai Bone pada ketiga stasiun rata-rata telah mencapai ≥ 0.2 ppm, dan konsentrasi sianida (CN^-) tertinggi berada pada stasiun III dengan nilai 0.2085 ppm. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001, tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air serta ketentuan dalam Alaerts & Santika (1987), bahwa tingkat kandungan sianida (CN^-) di Sungai Bone telah melebihi batas kadar maksimum yang diperbolehkan.
- b. Nakoe, et al., (2021) melakukan penelitian mengenai tingkat merkuri pada ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) dari Danau Limboto. Diperoleh hasil bahwa Tingkat merkuri pada ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) dari Danau Limboto, sekitar 0,000007 - 0,000089 mg / gram.
- c. Yayu , et al., (2017) melakukan penelitian mengenai konsentrasi logam berat pada rambut pekerja tambang dan masyarakat yang ada di Kecamatan Anggrek, Kwandang, Monano, Sumalata, and Tolinggula, Kabupaten Gorontalo Utara. Diperoleh hasil penelitian bahwa konsentrasi rata-rata logam berat dari Cu, Mn, dan Hg dari para penambang dan penduduk dari kelompok yang terpapar (ANGgrek dan Sumalata) adalah lebih rendah dari kelompok kontrol (Kwandang, Monanao, dan Tolinggula). Sementara untuk logam Hg sudah menyentuh level bahaya. Nilai Pb pada rambut para penambang dan masyarakat masih dalam level aman.
- d. Mahmud, Lihawa, Iyabu , & Sakakibara, (2021) Hasil analisis konsentrasi merkuri di dalam air Sungai Hulawa berkisar antara 0,009 – 0,013 mg/l. Hasil analisis juga menunjukkan bahwa kualitas air pada muara Laut Sulawesi sebesar

0.008 mg/l. Hasil analisis menunjukkan bahwa konsentrasi merkuri di dalam air tailing berkisar antara 0,002 – 0,007 mg/l (Sumalata) dan 0.001290.00801 (Ilangata). Kualitas air tanah dangkal (Ilangata) berkisar antara 0 – 0,10731 mg/l. Berdasarkan hasil ini maka kualitas air di dalam sungai, tailing dan muara laut Kecamatan Sumalata cenderung berada di atas baku mutu yang ditetapkan. Hasil analisis konsentrasi merkuri di sedimen pada Tailing di Desa Sumalata berkisar antara 4.35 – 23.85 mg/kg dan tailing Desa Ilangata sebesar 27.33 – 35.25 mg/kg. Pada sedimen di Sungai Hulawa berkisar antara 10.82 – 73.75 mg/kg dan Muara Laut Sulawesi sebesar 5.42 mg/kg. Berdasarkan hasil ini maka konsentrasi merkuri di dalam tailing sudah berada di atas baku mutu european safety standard yaitu 2 mg/kg. Hasil analisis merkuri pada tanaman padi sebesar (*Oryza Sativa* L), tanaman paku (*Diplazium Esculentum*) dan pada tanaman salam (*Syzygium Polyantum*) cenderung berada di atas baku mutu yang disyaratkan sesuai dengan SK Dirjen POM : No:03725/B/SK/VII/89 sebesar 0.5 mg/kg.

- e. Hiola dan Badjuka, 2020, melakukan penelitian mengenai kandungan logam berat pada ikan layang dan kerang dara yang ditangkap di perairan Sumala Timur. Diperoleh hasil penelitian bahwa Sampel ikan Layang Biru yang ditangkap di lokasi penelitian mengandung Merkuri, dimana sampel yang diambil pada titik 1 teridentifikasi kadar Merkuri sebesar 0.007 mg/kg, pada titik 2 sebesar 0.014, dan pada titik 3 sebesar 0.007 mg/kg. Sementara untuk sampel Kerang Darah yang diambil pada titik 1 teridentifikasi kadar Merkuri sebesar 0.072 mg/kg, pada titik 2 sebesar 0.081, dan pada titik 3 sebesar 0.086 mg/kg. Hal ini disebabkan oleh limbah pertambangan tradisional yang dihasilkan oleh penambang tradisional.

Soal Latihan:

1. Sebutkan daerah-daerah tercemar unsur toksikologi yang ada di Provinsi Gorontalo!
2. Sebutkan dan jelaskan bahan pencemar apa saja yang ditemukan di Provinsi Gorontalo!
3. Sebutkan dan jelaskan sumber-sumber pencemar di Provinsi Gorontalo!
4. Jelaskan pendapat anda sebagai seorang sanitarian terkait solusi yang bisa diterapkan terhadap penanggulangan pencemaran limbah yang bersifat toksik di Provinsi Gorontalo!

DAFTAR PUSTAKA

- Adhani, R., & Husaini. (2017). *Logam Berat di Sekitar Manusia*. Banjarmasin: Lambung Mangkurat University Press.
- Arifin, Y. I., Sakakibara, M., & Sera, K. (2015). Impacts of Artisanal and Small-Scale Gold Mining (ASGM) on Environment and Human Health of Gorontalo Utara Regency, Gorontalo Province, Indonesia. *Geosciences* 2015, 5, 160-176; doi:10.3390/geosciences5020160
- Mahmud, M., Lihawa, F., Iyabu, H., & Sakakibara, M. (2021). KAJIAN PENCEMARAN MERKURI TERHADAP LINGKUNGAN DI KABUPATEN GORONTALO UTARA. *PUSAT STUDI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEPENDUDUKAN UNIVERSITAS NEGERI GORONTALO*
- Mallongi, A., Pataranawat, P., & Park, P. (2021). Mercury Emission from Artisanal Buladu Gold Mine and its Bioaccumulation in Rice Grains, Gorontalo Province, Indonesia. *Advanced Materials Research (Volumes 931-932)*.
- Nakoe, R. M., Ardian, Y., Ruhardi, A., Dwinugroho, F., Yudhastuti, R., Sulistroyini, L., . . . Indriani, D. (2021). Risk Assessment Exposure of Mercury (Hg) at People who Consuming Nila. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical*.
- Permana, A. (2021, 4 15). *Institu Teknologi Bandung*. Retrieved 12 6, 2021, from Institu Teknologi Bandung Website: <https://www.itb.ac.id/berita/detail/57834/bagaimana-kondisi-logam-berat-di-indonesia>
- Yayu, A. I., Sakakibara, M., & Sera, K. (2017). Heavy metals concentrations in scalp hairs of ASGM miners and inhabitants of the Gorontalo Utara regency. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 71 (2017) 012028 doi :10.1088/1755-1315/71/1/012028.