

REPUBLIC INDONESIA
KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA

SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC00201938219, 16 April 2019

Pencipta

Nama : Dra. Herlina Fitrihidajati, M.Si., Dr. Fida Rachmadiarti, M.Kes.,
Alamat : Lidah Harapan Blok Z/17/18.A, RT 004/RW 005, Kelurahan Lidah Wetan, Kecamatan Lakar Santri, Surabaya, Surabaya, Jawa Timur, 60213
Kewarganegaraan : Indonesia

Pemegang Hak Cipta

Nama : Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Negeri Surabaya (UNESA)
Alamat : Gedung Rektorat Kantor LPPM Lantai 6, Kampus Universitas Negeri Surabaya, Lidah Wetan, Surabaya, Jawa Timur, 60213
Kewarganegaraan : Indonesia
Jenis Ciptaan : Buku
Judul Ciptaan : EKOTOKSIKOLOGI
Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia : 7 Februari 2017, di Surabaya
Jangka waktu perlindungan : Berlaku selama 50 (lima puluh) tahun sejak Ciptaan tersebut pertama kali dilakukan Pengumuman.
Nomor pencatatan : 000140305

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.
Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.



a.n. MENTERI HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA
DIREKTUR JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL

LAMPIRAN PENCIPTA

No	Nama	Alamat
1	Dra. Herlina Fitrihidajati, M.Si.	Lidah Harapan Blok Z/17/18.A, RT 004/RW 005, Kelurahan Lidah Wetan, Kecamatan Lakar Santri, Surabaya
2	Dr. Fida Rachmadiarti, M.Kes.	Plemahan 5/55-A, RT 005/RW 010, Kedungdoro, Tegalsari, Surabaya



EKOTOKSIKOLOGI



Herlina Fitrihidajati
Fida Rachmadiarti

EKOTOKSIKOLOGI

Penulis

Dra. Herlina Fitrihidajati, M.Si.

Dr. Fida Rachmadiarti, M.Kes



Penerbit
Unesa University Press

Dra. Herlina Fitrihidajati, M.Si.
Dr. Fida Rachmadiarti, M.Kes

EKOTOKSIKOLOGI

Diterbitkan Oleh
UNESA UNIVERSITY PRESS
Anggota IKAPI No. 060/JTI/97
Anggota APPTI No. 133/KTA/APPTI/X/2015
Kampus Unesa Ketintang
Gedung C-15 Surabaya
Telp. 031 – 8288598; 8280009 ext. 109
Fax. 031 – 8288598
Email : unipress@unesa.ac.id
unipressunesa@yahoo.com

xxxii, 105 hal., Ilus, 15 x 21

ISBN : 978-602-449-071-3

Copyright©2017 Unesa University Press

All right reserved

*Hak cipta dilindungi oleh undang-undang dilarang mengutip atau
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dengan cara
apapun baik cetak, fotoprint, microfilm, dan sebagainya, tanpa
izin tertulis dari penerbit*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas berkah Rahmat dan Hidayah-Nya maka penulisan Buku Ajar Ekotoksikologi dapat terselesaikan dengan baik. Penulisan buku ajar ini bertujuan untuk 1) memudahkan mahasiswa memahami konsep pada mata kuliah ekotoksikologi, 2) melatih berfikir kritis, dan 3) memberikan wawasan dan aplikasi tentang uji toksisitas bagi mahasiswa yang sedang menyusun skripsi.

Kami ucapkan terima kasih pada berbagai pihak yang telah membantu sehingga penulisan buku ajar ini dapat terlaksana. Tiada gading yang tak retak, kami menyadari buku ajar Ekotoksikologi ini belum sempurna karena itu masih perlu pengembangan lebih lanjut. Kami berharap buku ajar ini bermanfaat bagi mahasiswa dan berbagai pihak yang memerlukan.

Februari, 2017

Penulis

RENCANA PEMBELAJARAN SEMESTER (RPS)

Program Studi	: Biologi
Nama Mata Kuliah	: Ekotoksikologi
Kode Mata Kuliah	: -
Semester	: Gasal
SKS	: 2/1
Prasyarat	: Telah menempuh mata kuliah Ekologi dan Fisiologi
Nama Dosen Pengampu	: Dr. Fida Rachmadiarti, M.Kes. Dra. Herlina Fitrihidajati, M.Si.
Capaian Pembelajaran	: 1. Jujur dan mandiri dalam melakukan merancang dan membuat laporan tentang toksikologi di lingkungan sebagai solusi dalam mengatasi permasalahan toksikologi di lingkungan 2. Mampu mengambil keputusan secara tepat dalam konteks penyelesaian masalah tentang toksisitas di lingkungan akibat polutan 3. Memahami konsep-konsep dasar toksikologi di lingkungannya dengan memanfaatkan teknologi informasi 4. Merancang proyek pemecahan masalah tentang toksisitas di

Deskripsi

- lingkungan akibat produk polutan
5. Membuat laporan tentang toksikologi di lingkungan sebagai solusi dalam mengatasi permasalahan toksikologi di lingkungan
- : Mempelajari ruang lingkup toksikologi lingkungan melalui pemahaman tentang konsep dasar toksikologi, toksikometri, jalur ekologi dan toksikologi, dinamika bahan toksik di lingkungan, biotransformasi dan uji toksisitas, dan penelitian toksikologi. Materi disampaikan dalam bentuk teori dan praktik.

Referensi

1. Frank C. Lu. 2006. **Basic Toxicology**. Washington : Hemisphere Publishing Corporation.
2. Koesnoputranto, H. 2005. **Toksikologi Lingkungan**. Jakarta : FKM dan PPSML UI
3. Mukono, H. J. 2006. **Toksikologi Lingkungan**. Surabaya : Airlangga University Press
4. Press Siwiendrayanti, Arum, Eram Tunggal Pawenang dan Evi Widowati. 2016. **Toksikologi**. Semarang : Cipta Prima Nusantara.
5. Rachmadiarti, dkk. 2016. Pemetaan asam amino dan Rhizobakteri Semanggi dan Kiambang yang terpapar logam Pb. Surabaya: LPPM Unesa.
6. Sembel, Dantje T. , 2015. **Toksikologi Lingkungan**. Yogyakarta :

Andi Press

7. Soemirat, Juli dan Herto Dwi Ariesyadi, 2015. **Toksikologi Lingkungan**. Yogyakarta : UGM Press
8. Walker, C.H, R.M. Sibly, S.P.Hopkin, D.B. Peakall. 2015. **Principles of Ecotoxicology**. London : CRC Press

Tabel 1. Kegiatan Pembelajaran

Pert Ke	Kemampuan Akhir	Indikator	Bahan Kajian**	Strategi Pembelajaran	Sumber Belajar / Media	Waktu	Pengalaman Belajar
1.	Memahami Prinsip-prinsip dasar dari ekotoksikologi	1. Menjelaskan definisi dan tujuan toksikologi. 2. Mengidentifikasi bahan toksik dan karakteristik pemaparan 3. Menjelaskan interaksi bahan kimia 4. Menjelaskan	Prinsip Umum Ekotoksikologi : ➢ Definisi dan tujuan Toksikologi. ➢ Klasifikasi bahan toksik dan karakteristik	Diskusi, presentasi, Demonstrasi	PPT-01 Laptop, LCD projector Buku 1, 4 dan 7	3x50 menit	Mendiskusikan definisi , tujuan toksikologi, klasifikasi bahan toksik dan , karakteristik pemaparannya (jangka waktu dan frekuensi pemaparan)

Pert Ke	Kemampuan Akhir	Indikator	Bahan Kajian**	Strategi Pembelajaran	Sumber Belajar / Media	Waktu	Pengalaman Belajar
		hubungan dosis - respon	- pemaparan. ➤ Interaksi Bahan Kimia. ➤ Dosis-Respons.				serta interaksi bahan kimia Mempresentasikan hasil diskusi tentang definisi, tujuan toksikologi, klasifikasi bahan toksik dan karakteristik paparan (, jangka waktu dan frekuensi paparan) serta interaksi

Pert Ke	Kemampuan Akhir	Indikator	Bahan Kajian**	Strategi Pembelajaran	Sumber Belajar / Media	Waktu	Pengalaman Belajar
							bahan kimia Menjelaskan grafik yang mensimulasikan ada hubungan dosis respon dari bahan toksik
2	Memahami jenis-jenis bahan toksik di udara, air, makanan dan produk konsumen serta dampaknya.	1. Mengelompokkan bahan toksik di lingkungan 2. Menjelaskan pengelompokan bahan toksik di lingkungan 3. Menjelaskan dampak dari setiap jenis	Bahan Toksik : ➤ Bahan toksik di udara. ➤ Bahan toksik di air. ➤ Bahan toksik di makanan. ➤ Bahan toksik di	Diskusi, Presentasi, dan Demonstrasi	Buku-1, 2,7 dan PPt 02 Contoh bahan toksik pada perairan, makanan dan produk	3x50 menit	Mendiskusikan bahan toksik di udara, air, makanan dan produk konsumen Mempresentasikan hasil diskusi tentang

Pert Ke	Kemampuan Akhir	Indikator	Bahan Kajian**	Strategi Pembelajaran	Sumber Belajar / Media	Waktu	Pengalaman Belajar
		bahan toksik di lingkungan	- produk konsumen ➤ Dampak bahan toksik di udara, air, tanah, makanan dan konsumen		kosmetik.		bahan toksik di udara, air, makanan dan produk konsumen Mendemonstrasikan keberadaan bahan toksik di perairan dan dampaknya bagi biota
3	Memahami mekanisme keberadaan bahan toksik di lingkungan.	1. Mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan bahan toksik	➤ Faktor-faktor penyebab penyebaran bahan toksik	Diskusi, Presentasi	PPT 03, LCD Projector Laptop Buku 1, 2 dan 3	3 x 50 menit	Mendiskusikan identifikasi bahan toksik di lingkungan

Pert Ke	Kemampuan Akhir	Indikator	Bahan Kajian**	Strategi Pembelajaran	Sumber Belajar / Media	Waktu	Pengalaman Belajar
		berada di lingkungan 2. Menjelaskan mekanisme penyebaran bahan toksik di lingkungan	- di lingkungan: udara, air, tanah ➤ Mekanisme penyebaran bahan toksik di lingkungan udara, air dan tanah				dan penyebarannya. Presentasi hasil diskusi tentang identifikasi bahan toksik dan penyebarannya
4	Memahami mekanisme bahan toksik dalam tubuh organisme	1. Mendeskripsikan konsep tentang absorpsi, distribusi dan ekskresi toksikan. 2. Menjelaskan mekanisme penyebaran bahan toksik	➤ Absorpsi, distribusi dan ekskresi toksikan. ➤ Jalur masuk atau penyebaran bahan toksik	Diskusi, dan Presentasi demonstrasi	Buku-1,3, 4,5 dan PPT 04 dan LCD projector	3 x 50	Mendiskusikan absorpsi, distribusi, ekskresi dan kadar toksikan dalam tubuh organisme. Mendiskusikan penyebaran

Pert Ke	Kemampuan Akhir	Indikator	Bahan Kajian**	Strategi Pembelajaran	Sumber Belajar / Media	Waktu	Pengalaman Belajar
		toksik dalam tubuh organisme. 3. Menjelaskan informasi tentang efek toksik	dalam tubuh organisme : absorpsi, distribusi, eksresi, kadar toksikan dalam tubuh ➤ Efek toksik				bahan toksik dalam tubuh organisme Mendiskusikan efek toksik dan organ sasaran mempresentasikan hasil diskusi
5	Memahami prosedur pengujian uji toksisitas	1. Mengidentifikasi tahapan dalam prosedur pengujian 2. Menjelaskan tahapan dalam	➤ Prosedur Pengujian Uji Toksisitas ➤ Tahapan dalam uji toksisitas ; Aklimatisasi	Demonstrasi, Diskusi dan Presentasi	Buku-1,3,4, 5 PPT 05 dan LCD projector	3 x 50 menit	Mendiskusikan tahapan dalam prosedur pengujian uji toksisitas Presentasi

Pert Ke	Kemampuan Akhir	Indikator	Bahan Kajian**	Strategi Pembelajaran	Sumber Belajar / Media	Waktu	Pengalaman Belajar
		prosedur pengujian uji toksisitas 3. Merencanakan persiapan uji toksisitas tahap aklimatisasi secara mandiri	si, Orientasi, pendahuluan dan eksperimen				hasil diskusi Demonstrasi tentang uji toksisitas bahan polutan Mendiskusikan rencana persiapan uji toksisitas tahap aklimatisasi Melakukan kegiatan tahap aklimatisasi secara mandiri
6	Merancang praktikum	1. Terampil merencanakan	Tahapan Pengujian :	Diskusi	Buku-1,2,3,4 dan	3x50 menit	Mendiskusikan

Pert Ke	Kemampuan Akhir	Indikator	Bahan Kajian**	Strategi Pembelajaran	Sumber Belajar / Media	Waktu	Pengalaman Belajar
	sesuai tahapan-tahapan dalam prosedur pengujian uji toksisitas.	an rancangan uji toksisitas tahap orientasi, pendahuluan dan eksperimen secara mandiri 2. Terampil melakukan uji toksisitas tahap orientasi, pendahuluan dan eksperimen secara jujur	Orientasi Pendahuluan Ekperimen	Praktikum	5. PPT 06 dan LCD projector Bahan Praktikum : produk pembersih, ikan dan air		rancangan dalam prosedur pengujian tahap orientasi, pendahuluan dan eksperimen secara mandiri Berlatih melakukan praktikum uji toksisitas tahap orientasi, pendahuluan dan eksperimen secara jujur
7.	Membuat	1. Menulis	Hasil laporan	Diskusi	Buku-1	3x50	Berdiskusi

Pert Ke	Kemampuan Akhir	Indikator	Bahan Kajian**	Strategi Pembelajaran	Sumber Belajar / Media	Waktu	Pengalaman Belajar
	laporan hasil kegiatan uji toksisitas	laporan hasil kegiatan uji toksisitas yang meliputi rumusan masalah, tujuan, penyajian data, analisis data dan membuat simpulan secara jujur 2. Terampil mengkomunikasikan laporan hasil kegiatan uji toksisitas secara	Tahapan Pengujian : Orientasi Pendahuluan Ekperimen	Presentasi	Buku 2 dan 3. PPT hasil laporan dan LCD projector Laporan praktikum	menit	berlatih membuat laporan hasil praktikum dengan menyajikan data hasil pengamatan , menganalisis data hasil pengamatan secara jujur Berlatih mengkomunikasikan hasil praktikum

Pert Ke	Kemampuan Akhir	Indikator	Bahan Kajian**	Strategi Pembelajaran	Sumber Belajar / Media	Waktu	Pengalaman Belajar
		mandiri					secara mandiri
8	USS		Bahan USS : ❖ Prinsip Umum Toksikologi ❖ Bahan Toksik ❖ Dinamika Bahan Toksik di Lingkungan ❖ Absorpsi, Distribusi dan Ekskresi Toksikan ❖ Efek Toksik ❖ Prosedur				

Pert Ke	Kemampuan Akhir	Indikator	Bahan Kajian**	Strategi Pembelajaran	Sumber Belajar / Media	Waktu	Pengalaman Belajar
			pengujian				
9	Menjelaskan macam-macam penyakit sebagai efek Toksikan pada organisme	1. Membandingkan macam-macam penyakit sebagai akibat efek toksikan pada organisme 2. Menganalisis mekanisme timbulnya penyakit akibat toksikan 3. Menyimpulkan hubungan toksikan dengan kelainan-	Efek Toksikan pada Organisme. ➤ Karsinogenesis pada mutagenesis ➤ Teratogenesis pada umunotologi	Presentasi dan diskusi	PPT 08 Buku-1,2, 3 dan 5, LCD projector, laptop	3 x 50 menit	1. Diskusi tentang macam-macam penyakit sebagai efek toksikan spt karsinogenesis dan teratogenesis

Pert Ke	Kemampuan Akhir	Indikator	Bahan Kajian**	Strategi Pembelajaran	Sumber Belajar / Media	Waktu	Pengalaman Belajar
		kelainan pada organisme 4. Presentasi					
10	Menjelaskan macam-macam organ sasaran pada organisme sebagai akibat dari toksikan .	1. Membandingkan perbedaan organ sasaran dari target toksikan 2. Menganalisis hubungan antara toksikan dengan organ sasaran 3. Mengkomunikasikan proses dari efek toksikan	Organ Sasaran. ➤ Sistem Pernapasan ➤ Toksikologi Hati ➤ Toksikologi Ginjal ➤ Toksikologi Kulit ➤ Toksikologi Mata ➤ Toksikologi Susunan saraf ➤ Toksikologi	Presentasi dan diskusi	PPT 09, Buku 1,2. 3 dan 5, LCD, laptop	3 x 50 menit	Diskusi tentang organ sasaran

Pert Ke	Kemampuan Akhir	Indikator	Bahan Kajian**	Strategi Pembelajaran	Sumber Belajar / Media	Waktu	Pengalaman Belajar
		terhadap organ sasaran	gi Reproduksi dan Kardiovaskuler				
11	Memahami dampak toksisitas melalui penilaian resiko	1. Mengidentifikasi tahapan-tahapan dalam penilaian risiko 2. Membandingkan tahapan-tahapan dalam penilaian risiko 3. Menyimpulkan tahapan-tahapan dalam	Zat Toksik dan Penilaian Resiko	Eksperimen , Presentasi dan diskusi	PPT10, Buku 1,2, 3, 5 dan 6 laptop dan LCD	3 x 50 menit	1. Melakukan eksperimen secara jujur dan zat toksikan , misalnya logam, pestisida pada suatu organisme, misalnya

Pert Ke	Kemampuan Akhir	Indikator	Bahan Kajian**	Strategi Pembelajaran	Sumber Belajar / Media	Waktu	Pengalaman Belajar
		penilaian resiko 4. Melakukan eksperimen secara jujur tentang zat toksikan, misalnya logam, pestisida pada suatu organisme, misalnya tumbuhan atau hewan					a tumbuhan atau hewan 2. Diskusi Zat Toksikd an penilaian resiko
12	Memahami toksisitas Pestisida terhadap Organisme dan Lingkungan.	1. Mendeskripsikan toksisitas pestisida di lingkungan secara mandiri	➤ Toksisitas pestisida di lingkungan	Presentasi dan diskusi	PPT1, Buku 1,2,3 dan 5, laptop dan LCD	3 x 50 menit	1, melakukan studi referensi terkait toksisitas pestisida.

Pert Ke	Kemampuan Akhir	Indikator	Bahan Kajian**	Strategi Pembelajaran	Sumber Belajar / Media	Waktu	Pengalaman Belajar
		2. Menganalisis peranan pestisida di lingkungan 3. Menyimpulkan peranan pestisida di lingkungan 4. Mengkomunikasikan toksisitas pestisida					2. Mendiskusikan toksisitas Pestisida secara kelompok
13	Memahami toksisitas logam	1. Mendeskripsikan peranan logam di lingkungan berdasarkan literatur 2. Menganalisis toksisitas logam di lingkungan	Toksisitas Logam. ➤ Pengantar ➤ Ciri umum ➤ Logam yang penting dalam Toksikologi	Diskusi dan presentasi	PPT 12 Diskusi LCD projector, laptop, Buku-1,2, 3, 5 dan 6	3 x 50	1. Menulis laporan tentang hasil eksperimen 2. Diskusi toksisitas logam

Pert Ke	Kemampuan Akhir	Indikator	Bahan Kajian**	Strategi Pembelajaran	Sumber Belajar / Media	Waktu	Pengalaman Belajar
		3. Menyimpulkan toksisitas logam 4. Mengkomunikasikan toksisitas logam	gi ➤ Pertimbangan manfaat atau Resiko				
14	Menjelaskan Tahapan-tahapan dalam Evaluasi Toksikologi.	1. Mengidentifikasi tahapan dalam evaluasi toksikologi 2. Membandingkan spesifikasi setiap tahapan dalam evaluasi toksikologi 3. Menyimpulkan tahapan	Tahapan dalam prosedur evaluasi toksikan	Presentasi dan diskusi, Praktik	PPT 13 Diskusi LCD projector, laptop, Buku-1,2, 3, 4, 6	3 x 50 menit	1. Diskusi tahapan dalam prosedur evaluasi toksikan

Pert Ke	Kemampuan Akhir	Indikator	Bahan Kajian**	Strategi Pembelajaran	Sumber Belajar / Media	Waktu	Pengalaman Belajar
		dalam prosedur evaluasi toksikologi					
15	Mengkomunikasikan Hasil Penelitian Proyek 1..	1. Menyajikan informasi hasil percobaan	Seminar Hasil Penelitian Proyek tentang pengaruh fitoremediasi dan toksisitas terhadap letal dosis organisme	Presentasi dan diskusi	Buku 1,2,3 dan 6, PPT laporan hasil laporan kelompok dan LCD, Laptop	3 x 50 menit	1. Presentasi tentang hasil Eksperimen zat toksikan, misalnya pestisida pada suatu organisme, misalnya

Pert Ke	Kemampuan Akhir	Indikator	Bahan Kajian**	Strategi Pembelajaran	Sumber Belajar / Media	Waktu	Pengalaman Belajar
							tumbuh an atau hewan 2. Diskusi dari hasil presentasi tiap-tiap kelompok

Keterangan:

* kemampuan akhir yang direncanakan pada tiap tahap pembelajaran untuk memenuhi capaian pembelajaran lulusan

**Bahan kajian yang terkait dengan kemampuan yang akan dicapai

Mengetahui
Ketua Prodi Biologi,

Dr. Nur Ducha, M.Si
(NIP. 197007191997022001)

Surabaya, 11 Agustus 2017
Penyusun

Dra. Herlina Fitrihidajati, M.Si.
(NIP. 196302261991032001)

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	iii
Rencana Pembelajaran Semester (RPS)	v
Daftar Isi	xxi

BAH I PENGANTAR EKOTOKSIKOLOGI 1

A. Pendahuluan	1
1. Deskripsi	1
2. Tujuan Pembelajaran	1
B. Materi	1
1. Landasan Ekotoksikologi	1
2. Pengertian Ekotoksikologi	2
3. Istilah dalam Ekotoksikologi	2
4. Hubungan dalam dosis respon	3
5. Latihan	5
6. Rangkuman	5
C. Evaluasi	5
D. Daftar Bacaan	6

BAH II KLASIFIKASI BAHAN TOKSIN 7

A. Pendahuluan	7
1. Deskripsi	7
2. Tujuan Pembelajaran	7
B. Materi	7
1. Klasifikasi Bahan Beracun Berdasarkan Toksisitas	7
2. Klasifikasi Bahan Beracun Berdasarkan Wujud Fisik	8
3. Klasifikasi Bahan Beracun Berdasarkan Sifat Biotis-Abiotisnya	9
4. Latihan	10
5. Rangkuman	10
C. Evaluasi	10
D. Daftar Bacaan	10

BAH III DINAMIKA BAHAN TOKSIK DI LINGKUNGAN 12

A. Pendahuluan	12
----------------------	----

1. Deskripsi.....	12
2. Tujuan Pembelajaran.....	12
B. Materi.....	12
1. Bahan Toksik di Lingkungan	12
2. Kondisi Penyebab Penyebaran Bahan Toksik di Lingkungan	13
3. Inversi Udara	14
4. Pergerakan Menurut Arah Angin.....	15
5. Latihan.....	17
6. Rangkuman	18
C. Evaluasi.....	18
D. Daftar Bacaan	18

BAB IV ABSORPSI, DISTRIBUSI, BIOTRANS FORMASI DAN EKSKRESI TOKSIKAN....

A. Pendahuluan.....	19
1. Deskripsi.....	19
2. Tujuan Pembelajaran.....	19
B. Materi.....	19
1. Aliran Toksik dalam Lingkungan.....	19
2. Aliran Toksik dalam Tubuh.....	19
3. Perjalanan Bahan Kimia (Xenobiotik/ Toksik) dalam Lingkungan	21
4. Proses yang dialami oleh Bahan Toksik dalam suatu Organisme.....	22
5. Contoh Bahan Toksik yang dapat Terabsorpsi oleh Makhluk Hidup	33
6. Latihan.....	33
7. Rangkuman	33
C. Evaluasi.....	34
D. Daftar Bacaan	34

BAB V FAKTOR YANG MEMPENGARUHI TINGKAT KERACUNAN DAN EFEK TOKSIK

A. Pendahuluan	35
1. Deskripsi	35
2. Tujuan Pembelajaran	35
B. Materi	35
1. Faktor fisik bahan kimia.....	35

2. Faktor kimiawi bahan kimia	36
3. Faktor dosis/konsentrasi	36
4. Faktor karakteristik individu	37
5. Faktor paparan	40
6. Efek toksik terhadap tubuh.....	41
7. Mekanisme kerja efek toksik	43
8. Reseptor	43
9. Latihan	45
10. Rangkuman	45
C. Evaluasi	45
D. Daftar Bacaan.....	46

BAB VI TAHAPAN-TAHAPAN DALAM PROSEDUR PENGUJIAN DALAM UJI TOKSISITAS...

A. Pendahuluan	47
1. Deskripsi.....	47
2. Tujuan Pembelajaran	47
B. Materi	47
1. Aklimatisasi	47
2. Pendahuluan	48
3. Orientasi.....	48
4. Eksperimen	49
5. Latihan	50
6. Rangkuman	50
C. Evaluasi	50
D. Daftar Bacaan.....	51

BAB VII EFEK TOKSIKAN PADA ORGANISME

A. Pendahuluan	52
1. Deskripsi	52
2. Tujuan Pembelajaran	52
B. Materi	53
1. Karsinogenesis pada mutagenesis	53
2. Teratogenesis pada imunotoksikologi	53
3. Latihan	55
4. Rangkuman	55

C. Evaluasi	56
D. Daftar Bacaan	56

BAB VII ORGAN SASARAN

A. Pendahuluan	57
1. Deskripsi	57
2. Tujuan Pembelajaran	57
B. Materi.....	57
1. Sistem pemapasan.....	57
2. Toksikologi hati	61
3. Toksikologi ginjal.....	64
4. Toksikologi kulit	65
5. Toksikologi mata	68
6. Toksikologi susunan saraf	68
7. Toksikologi reproduksi dan kardiovaskuler	70
5. Latihan	70
6. Rangkuman	70
C. Evaluasi	70
D. Daftar Bacaan	71

BAB IX ZAT TOKSIK DAN PENILAIAN RISIKO...

A. Pendahuluan	72
1. Deskripsi	72
2. Tujuan Pembelajaran	72
B. Materi	73
1. Pengertian Penilaian resiko	73
2. Dasar-dasar penilaian resiko	74
3. Karakteristik Resiko	75
4. Tahapan- tahapan dalam penilaian risiko	76
5. Analisis resiko lingkungan	79
6. Latihan	80
7. Rangkuman	80
C. Evaluasi	81
D. Daftar Bacaan	81

BAB X

TAHAPAN-TAHAPAN DALAM PROSEDUR PENGUJIAN DALAM UJI TOKSISITAS ..	82
A. Pendahuluan	82
1. Deskripsi	82
2. Tujuan Pembelajaran	83
B. Materi	83
1. Toksisitas pestisida di lingkungan.....	83
2. Peranan pestisida di lingkungan	84
3. Latihan	86
4. Rangkuman	86
C. Evaluasi	87
D. Daftar Bacaan.....	87

BAB XI

TOKSISITAS LOGAM	89
A. Pendahuluan	89
1. Deskripsi	89
2. Tujuan Pembelajaran	90
B. Materi	90
1. Peranan logam di lingkungan	90
2. Toksisitas logam	91
3. Mekanisme toksisitas timbal	92
4. Latihan	94
5. Rangkuman	94
C. Evaluasi	95
D. Daftar Bacaan	95

BAB XII TAHAPAN-TAHAPAN EVALUASI TOKSIKOLOGI

A. Pendahuluan	96
1. Deskripsi	96
2. Tujuan Pembelajaran	96
B. Materi	97
1. Tahap-tahap evaluasi	97
2. Latihan	100
3. Rangkuman	100
C. Evaluasi	100

D. Daftar Bacaan	101
KUNCI JAWABAN	102
GLOSARIUM	114
INDEKS	117
DAFTAR PUSTAKA	119

BAB I PENGANTAR EKOTOKSIKOLOGI

A. Pendahuluan

1. Deskripsi

Bab ini membahas tentang ruang lingkup Pengantar Ekotoksikologi yang meliputi landasan ekotoksikologi berdasarkan perkembangan mutakhir, pengertian dan istilah serta hubungan dosis respon.

B. Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini Mahasiswa diharapkan dapat :

- a. menjelaskan landasan ekotoksikologi
- b. menjelaskan pengertian ekotoksikologi
- c. menjelaskan 3 istilah dalam ekotoksikologi
- d. menjelaskan hubungan dosis respon

B. Materi

1. Landasan ekotoksikologi

Sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta perkembangan penduduk, masyarakat menuntut perbaikan kondisi kesehatan dan kehidupan diantaranya gizi, pakaian, tempat tinggal dan transportasi. Untuk memenuhi tujuan ini, berbagai jenis bahan kimia telah diproduksi dan digunakan bahkan dalam jumlah besar. Dengan berbagai cara bahan-bahan tersebut bersentuhan dengan berbagai segmen penduduk baik dalam proses pembuatannya, sebagai pengguna baik untuk konsumsi (makanan-minuman, obat-obatan, zat tambahan makanan) bahan pembersih maupun yang menyalahgunakannya. Kemajuan tersebut disisi lain memberikan dampak negatif juga terhadap lingkungan seperti terjadi pencemaran.

Mengingat semakin banyak orang yang terpajan bahan kimia ini maupun kerusakan lingkungan yang terjadi, maka kita harus mencari upaya pengendalian yang tepat sebelum terjadi kerusakan yang hebat. Oleh sebab itu diharapkan agar ahli toksikologi modern harus mencoba mengidentifikasi berbagai indikator pajanan dan tanda efeknya terhadap kesehatan yang dini dan reversibel. Hal ini akan memungkinkan penentuan keputusan pada saat yang tepat untuk melindungi kesehatan orang per orang, baik sebagai pekerja industri maupun dalam masyarakat yang terpajan/terpapar serta lingkungannya.

2. Pengertian Ekotoksikologi

Pada dasarnya Ekotoksikologi merupakan salah satu bidang dari Toksikologi. Ekotoksikologi (Truhaut 1977): Ilmu yang mempelajari efek toksik yang disebabkan oleh polutan alami dan sintesis yang berhubungan dengan ekosistem binatang/manusia, tumbuhan dan mikroba secara integral. Tahun 1967, muncul pertanyaan dari Paracelsus "apakah ada bahan sebagai racun?" pada dasarnya semua bahan kimia adalah racun dan tidak ada satupun tanpa racun. Hanya dosis dari bahan kimia yang membuat sesuatu adalah racun atau bukan racun. Semakin besar racun yang diserap oleh tubuh semakin besar/cepat efek yang terjadi.

Contoh : Jumlah kalori pada makanan

1. Kurang menjadi lemas
2. Cukup menjadi normal
3. Lebih menjadi obesitas

3. Istilah dalam Ekotoksikologi

Beberapa istilah penting yang biasa digunakan dalam bahasan ekotoksikologi diantaranya sebagai berikut:

- Toksin

Toksin atau racun adalah suatu zat yang dalam jumlah relatif sedikit telah dapat menimbulkan bahaya atau gangguan bagi kesehatan atau sistem biologik.

- Xenobiotik
Xenobiotik adalah sebutan untuk semua bahan yang asing bagi tubuh.

- Toksisitas
Toksisitas suatu zat adalah kemampuan zat tersebut untuk menimbulkan kerusakan pada organisme hidup.

- Dosis
Dosis adalah jumlah xenobiotik yang masuk ke dalam tubuh. Satuan dosis adalah mg/kg berat badan.

- Respon
Merupakan fungsi kadar pada tempat sebagai reaksi atau efek dari dosis

- Keracunan/intoksikasi
Keracunan/intoksikasi ialah keadaan tidak normal akibat racun. Keadaan tidak normal tersebut dapat berupa perubahan morfologi, fisiologi, pertumbuhan dan perkembangan tubuh, ataupun pengurangan usia hidup suatu organisme dan mengakibatkan kerusakan kapasitas fungsi atau gangguan kemampuan bertahan terhadap racun ataupun meningkatkan kerentanan organisme terhadap zat racun tersebut.

4. Hubungan Dosis Respon

Dosis respon merupakan hubungan causal

- ❖ Perlakuan dosis-respon suatu bahan digambarkan sebagai peningkatan dosis akan meningkatkan efek samping efek maksimal tercapai.

- ❖ Suatu respon dari adanya paparan dapat berupa respon yang mematikan (*lethal response*) dan respon yang tidak mematikan (*non-lethal response*).

a. Pengertian Lethal Dose₅₀ (LD₅₀)

- Istilah LD₅₀ pertama kali diperkenalkan sebagai indeks oleh Trevan pada tahun 1927.
- LD₅₀ secara statistik : Dosis tunggal derivat suatu bahan tertentu pada uji toksisitas yang pada kondisi tertentu dapat menyebabkan kematian 50% dari populasi uji (hewan percobaan)
- Pengertian hubungan dosis respon adalah menggunakan LD₅₀.

b. Lethal Dose₅₀ (LD₅₀)

Suatu dosis efektif untuk 50% hewan digunakan karena arah kisaran nilai pada titik tersebut paling menyempit dibandingkan dengan titik-titik ekstrim dari kurva dosis-respon. Pada kurva normal sebanyak 68% dari populasi berada dalam plus-minus nilai 50%.

c. Lethal Concentration₅₀ (LC₅₀)

- ✓ Suatu variasi dari LD₅₀ adalah LC₅₀ : konsentrasi bahan yang menyebabkan kematian 50% organisme yang terpapar.
- ✓ Parameter ini digunakan jika suatu organisme dipaparkan terhadap konsentrasi bahan tertentu dalam air atau udara yang dosisnya tidak diketahui.

d. Aplikasi Hubungan Dosis-Respon

- 1) Dipaparkan pada suatu populasi dan pada tingkat dosis tersebut sudah Toksik dose (TD) : Dosis dari suatu bahan yang dapat mengakibatkan kerusakan pada jaringan tubuh hewan percobaan.

- 2) Effective dose (ED) : Dosis dari suatu bahan tersebut dapat menimbulkan efek biologis yang ringan untuk pertama kalinya pada hewan percobaan.

6. Latihan : Berfikir kritis (Identifikasi, analisis dan evaluasi)

- Sediakan satu jenis produk (obat) yang dijual bebas di apotek misalnya obat diare.
- Bacalah aturan pakainya.
- Identifikasilah penggunaan dosis untuk usia anak-anak dan dewasa.
- Analisislah penggunaan dosis obat untuk usia anak-anak dan dewasa.
- Jelaskan mengapa penggunaan dosis obat untuk usia anak-anak berbeda dengan orang dewasa.

6. Rangkuman

Ekotoksikologi merupakan salah satu bidang dari toksikologi yang lahir karena perkembangan ilmu dan teknologi serta perkembangan penduduk yang telah memberikan dampak pada kesehatan manusia akibat pajanan atau paparan yang berlebih serta pencemaran terhadap lingkungan. Untuk itu perlu upaya penyelamatan lebih dini untuk mencegah kerusakan yang lebih hebat. Upaya penyelamatan dapat dilakukan melalui pendekatan Ekotoksikologi dengan cara memahami pengertiannya, istilah-istilah yang ada seperti toksik, toksin, keracunan dan lain-lain. Penting juga memahami hubungan dosis respon sebagai dasar dari ekotoksikologi

C. Evaluasi

- Petunjuk : Jawablah pertanyaan berikut dengan jelas
1. Jelaskan landasan dasar dari ekotoksikologi !

BAB II

KLASIFIKASI BAHAN TOKSIK

2. Jelaskan pengertian ekotoksikologi!
3. Jelaskan pengertian dari toksin, xenobiotik dan keracunan.
4. Jelaskan hubungan dosis respon dengan contoh LD₅₀

D. Daftar Bacaan

- Kusnoputanto, H. 2005. Toksikologi Lingkungan. Jakarta : Fakultas Kesehatan Masyarakat dan Pusat Penelitian Sumber daya Manusia dan Lingkungan Universitas Indonesia.
- Lu, Frank C. 2006. Basic Toxicology. Washington : Hemisphere Publishing Corporation.
- Mukono, H. J. 2006. Toksikologi Lingkungan. Surabaya : Airlangga University Press.
- Siwendrayanti, Arum, Eram Tunggul Pawenang dan Evi Widowati. 2016. Toksikologi. Semarang : Cipta Prima Nusantara.

A. Pendahuluan

1. Deskripsi

Bab ini membahas tentang ruang lingkup Klasifikasi bahan toksik yang meliputi klasifikasi berdasarkan toksistas, wujud fisik serta sifat biotis dan abiotisnya

B. Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini Mahasiswa diharapkan dapat :

- a. Mengidentifikasi bahan toksik dan tidak toksik
- b. Menjelaskan pengelompokan bahan toksik berdasarkan toksistas
- c. Menjelaskan pengelompokan bahan toksik berdasarkan wujud fisik
- d. Menjelaskan pengelompokan bahan toksik berdasarkan sifat biotis dan abiotis

II. Materi

1. Klasifikasi Bahan Beracun Berdasarkan Toksisitas

a. Klasifikasi toksistas menurut LD₅₀ dan LC₅₀

Klasifikasi toksistas menurut LD₅₀ dan LC₅₀ dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut ini:

Tabel 4.1 Toxicity Classes

Toxicity Rating	Descriptive Term	LD ₅₀ (Mg/Kg) Single oral dose (RAT)	LC ₅₀ (ppm) 4 hours inhalation (RAT)
1	Extremely toxic	<1	<10
2	Highly toxic	1-50	10-100

Toxicity Rating	Descriptive Term	LD ₅₀ (Mg/Kg) Single oral dose (RAT)	LC ₅₀ (ppm) 4 hours inhalation (RAT)
3	Moderately toxic	50-100	100-1.000
4	Slightly toxic	500-5.000	1.000-10.000
5	Practically non-toxic	5.000-15.000	10.000-100.000
6	Relatively harmless	15.000 or more	>100.000

b. Klasifikasi toksisitas menurut perubahan jaringan

Toksistas suatu zat menurut perubahan jaringan yang terjadi, dapat diklasifikasikan menjadi tiga golongan, yaitu:

- Toksisitas rendah
Zat-zat dengan toksistas rendah yaitu zat-zat yang dapat menyebabkan perubahan biologik pada jaringan yang sifatnya *reversible*, baik dengan maupun tanpa pengobatan.
- Toksisitas sedang
Zat-zat dengan toksistas sedang yaitu zat-zat yang dapat menyebabkan perubahan biologik pada jaringan yang sifatnya *reversible* maupun *irreversible*, dan perubahan jaringan tersebut biasanya tidak mengancam jiwa seseorang namun dapat meninggalkan cacat fisik yang serius.
- Toksisitas tinggi
Zat-zat dengan toksistas tinggi yaitu zat-zat yang pada kadar rendah dan pada pemaparan yang berulang dan terus-menerus dapat menyebabkan kematian ataupun cacat fisik yang serius.

2. Klasifikasi Bahan Beracun Berdasarkan Wujud Fisik

Klasifikasi berdasarkan wujud fisiknya, sangat bermanfaat dalam memahami efek yang mungkin akan terjadi serta pengendaliannya. Berdasarkan wujud fisiknya,

bahan beracun dibedakan menjadi bahan beracun yang berwujud gas, padat, dan cair.

Racun dengan bentuk khas dapat berdifusi sehingga menyebar lebih cepat daripada racun dengan wujud cair dan padat. Racun bentuk gas umumnya masuk ke dalam tubuh melalui inhalasi. Racun berbentuk padat dapat masuk terutama melalui saluran pencernaan. Racun berwujud padat akan lebih mudah menyebar apabila ukurannya sangat halus yang sehingga menjadi sangat aerodinamis dan dapat menyebar bersama aliran udara serta dapat masuk ke dalam tubuh melalui inhalasi. Racun berbentuk cair dapat masuk ke dalam tubuh melalui saluran pencernaan dan juga kulit. Dimungkinkan pula masuk melalui inhalasi apabila bahan cair tersebut mudah menguap. Racun bentuk cair akan lebih cepat menyebar apabila terdapat pada sumber air bersih dan sumber air minum atau mudah menguap sehingga mudah terbawa oleh aliran udara.

3. Klasifikasi Bahan Beracun Berdasarkan Sifat Biotis-Abiotisnya

Klasifikasi berdasarkan biotis dan abiotis dibuat karena bahaya yang terjadi akan berbeda. Zat yang hidup dapat berkembang biak apabila lingkungannya mendukung, sedangkan abiotis dapat berubah menjadi berbagai senyawa. Dengan demikian, pengendaliannya pun akan berbeda.

Yang termasuk racun biotis diantaranya:

- Racun yang dihasilkan oleh mikroba, seperti racun dari *Clostridium botulinum*, racun dari *Vibrio cholerae*, racun dari *Pseudomonas cocovenans*, dll.
 - Racun yang berupa metabolit organisme, seperti amonia, nitrat, nitrit, CO, CO₂, derivatif sulfur, dll.
- Sedangkan yang digolongkan sebagai racun abiotis adalah racun yang terbentuk secara antropogenik diantaranya:

- Racun logam, seperti berilium, cadmium, kromium, *cobalt*, tembaga, besi, timah hitam, nikel, selenium, titanium, seng, asbes, dan lain lain.
- Racun non-logam, seperti : CO, ester, sianida (CN), klorofenol, DDT, herbisida, polistilik hidrokarbon (PAH), dan lain-lain

4. Latihan : Berfikir kritis (Identifikasi, analisis dan evaluasi)

- Sediakan bahan pewarna tekstil/cat dan pewarna untuk minuman
- Bacalah aturan pakainya.
- Identifikasilah peruntukan penggunaannya
- Analisislah dengan membandingkan peruntukan penggunaannya.
- Jelaskan mengapa pewarna tekstil/cat tidak boleh digunakan untuk minuman?

5. Rangkuman

Sumber Bahan Toksik di lingkungan jumlahnya banyak. Tingkat toksisitasnya berbeda-beda sesuai dengan karakteristiknya sehingga dapat diklasifikasikan berdasarkan sifatnya yaitu berdasarkan toksisitasnya, berdasarkan wujud fisik, dan sifat biotis dan abiotis.

C. Evaluasi

Petunjuk : Jawablah pertanyaan berikut dengan jelas

- Jelaskan klasifikasi bahan beracun berdasarkan toksisitasnya!
- Jelaskan klasifikasi bahan beracun berdasarkan wujud fisiknya!
- Jelaskan klasifikasi berdasarkan sifat biotis-abiotisnya!

D. Daftar Bacaan

Kusnoputranto, H. 2005. Toksikologi Lingkungan. Jakarta : Fakultas Kesehatan Masyarakat dan Pusat Penelitian

Sumberdaya Manusia dan Lingkungan Universitas Indonesia.

10. Frank C. 2006. Basic Toxicology. Washington : Hemisphere Publishing Corporation.

Mukono, H. J. 2006. Toksikologi Lingkungan. Surabaya : Airlangga University Press.

Mwendavanti, Arum, Eram Tunggal Pawenang dan Evi Widowati. 2016. Toksikologi. Semarang : Cipta Prima Nusantara.

BAB III

DINAMIKA BAHAN TOKSIK DI LINGKUNGAN

A. Pendahuluan

1. Deskripsi

Bab ini mempelajari ruang lingkup tentang dinamika bahan toksik di lingkungan yang meliputi materi pengelompokan bahan toksik di lingkungan, kondisi yang menyebabkan penyebaran bahan toksik dan dinamika penyebarannya di lingkungan

2. Tujuan Pembelajaran.

Setelah mempelajari buku ini mahasiswa dapat:

- a. Mahasiswa mampu mengelompokkan bahan toksik di lingkungan
- b. Mahasiswa mampu mengidentifikasi kondisi atau faktor penyebab penyebaran bahan toksik di lingkungan.
- c. Mahasiswa mampu menjelaskan dinamika bahan toksik di lingkungan.

B. Materi

Bahan toksik di lingkungan dapat berada di dalam ruang (in door) atau di luar ruang (out door). Keberadaan di ruang manakah yang lebih berbahaya ? Perjalanan bahan toksik di lingkungan dapat melalui:

- Udara
- Tanah
- Air
- Makanan

1. Bahan Toksik di Lingkungan

- a. Sumber Bahan Toksik di Udara
 - Sumber :

- Kendaraan bermotor

- Industri

- Bentuk :

- Gas

- Suspensi

- b. Sumber Bahan Toksik di Perairan

- Sumber :

- Pestisida

- Pupuk

- Pembersih lantai

- Detergen

- c. Sumber Bahan Toksik di Tanah

- Sumber :

- Minyak

- Pestisida

- d. Sumber Bahan Toksik pada Produk Konsumen (Kosmetik dan Makanan)

- Sumber :

- Kosmetik : Merkuri (Hg)

- Makanan : Zat aditif (pewarna, penguat rasa, pemanis)

- e. Kondisi Penyebab Penyebaran Bahan Toksik di Lingkungan

- a. Pencemaran di Udara

- Sasaran :

- Langsung

- Tidak langsung

- Masalah: Proses kimia di atmosfer dapat merubah bentukan toksisitas polutan udara. Mengapa ?

- Faktor yang mempengaruhi :

- ❖ Inversi Udara

- ❖ Pergerakan menurut arah angin

- ❖ Pengendapan polutan udara

- ❖ Kimia Atmosfer

b. Pencemaran di Air

- Mengapa air dapat mengubah tingkat toksisitas?
- Sifat air : - sebagai pelarut - Medium mempercepat reaksi kimia
- Faktor yang mempengaruhi : - Aliran dan Pencampuran - Proses kimia dalam air.

4. Dinamika Bahan Toksik di Lingkungan

a. Udara

1) Kondisi Polusi

- Fakta : Tingkat polusi tinggi atau tingkat polusi rendah.
- Contoh kasus : Di kota tertentu pada pagi hari tingkat polusi rendah walaupun sumber yang mengeluarkan polutan konstan.
- Mengapa bisa demikian ?
 - Ada faktor yang mempengaruhi : - Angin ?
 - Struktur vertikal atmosfer ?

2) Ventilasi Alamiah

- Udara pada kondisi normal umumnya berfungsi sebagai ventilasi alamiah
- Suhu atmosfer akan menjadi lebih dingin dengan semakin tingginya tempat (selisih 6,5 derajat C setiap 1 km).
- Suhu udara di permukaan atmosfer pada kondisi normal menjadi lebih hangat
- Udara hangat mempunyai densitas (pengendapan) lebih rendah dibandingkan udara dingin, maka udara hangat akan cenderung bergerak ke atas. Akibatnya udara di permukaan bumi menjadi lebih dingin dan tidak ada perbedaan suhu yang mencolok (terutama bila tidak ada cahaya matahari untuk meningkatkan udara yang telah naik).
- Pergerakan udara ke atas akan menghilangkan polutan yang ada di udara.

Akibatnya: tingkat polusi tingkat toksisitasnya menjadi rendah.

3) Inversi Udara

Masalah: bagaimana jika suhu udara di permukaan lebih dingin daripada lapisan di atasnya ? (kondisi ini disebut Inversi Udara).

- Pada suhu udara yang dingin tingkat densitas tinggi sehingga tidak ada pergerakan udara ke atas.
- Kondisi ini mengakibatkan polutan-polutan yang ada di udara tetap berada di lapisan udara permukaan tempat di mana makhluk hidup berada. Akibatnya tingkat polusi atau tingkat toksisitas menjadi tinggi.
- Kapan atau di mana kondisi inversi udara dapat terjadi ?
 - Pada malam hari - Kota yang dikelilingi pegunungan
 - pada saat lapisan debu berada di lapisan udara bagian atas - Ada polutan yang mampu menyerap cahaya matahari (SO_2 , Aerosol)

4) Pergerakan Menurut Arah Angin

- Mempengaruhi massa polutan (plume)
- Masalah : Pabrik kimia meledak (kecelakaan)
- Resiko :
 - Pemukiman dan penduduk yang dekat? - Pemukiman dan penduduk yang jauh?
 - Pemukiman dan penduduk yang dekat maupun jauh dari pabrik?
- Bagaimana bisa ?
 - Arah angin: Sampai jarak 30 - 45 km angin dari satu arah, asap bergerak secara zig zag searah dengan arah angin selanjutnya pada jarak 80 km asap akan membelok ke satu arah dan membentuk lengkungan atau busur.
 - Arah angin yang tiba-tiba berubah mengakibatkan asap menjadi tersebar. Contoh :

Ledakan PLTN di Chernobyl Rusia (iodine - 131 dan cesium - 137), bergerak ke arah barat menuju timur laut Eropa dan Skandinavia kemudian berubah ke tenggara sampai ke Italia, kemudian berubah lagi ke arah timur menuju Asia dan Samudra Pasifik sampai ke pantai barat Amerika Utara.

Prinsip gerakan asap : - horizontal dan vertikal - difusi (gerakan menyebar mengisi seluruh ruangan) - turbulensi udara (gerakan berombak yang mengakibatkan perputaran acak).

Arah angin dengan kecepatan 16 km/jam dapat mengakibatkan penyebaran asap sampai mencapai jarak 30 km ke arah kiri dan kanan dari sumber dan mencapai jarak beberapa ratus meter dari sumber.

- Masalah : Mengapa cerobong asap dibuat tinggi ? (tujuan ? Prosesnya ?)

i. Pengendapan (Deposisi) Polutan Udara

- Jika terjadi ledakan pabrik maka akan menimbulkan resiko misalnya pada manusia,
- Dosis polusi yang diterima tergantung pada : (a) Jarak dari tanah sampai bagian bawah dari gumpalan asap (ketinggian), (b) Tingkat Pengendapan bahan.
- Ketinggian gumpalan ditentukan oleh : Turbulensi, difusi dan gerakan udara vertikal.
- Tingkat pengendapan ditentukan oleh ukuran dan berat partikel.
- Pergerakan udara vertikal yang kuat mengakibatkan asap bergerak ke atas
- Turbulensi yang kuat mengakibatkan asap bergerak ke arah bawah, ke samping dan ke atas.
- Gerakan ke bawah disebabkan oleh gravitasi (dry deposition/pengendapan kering) atau terpawa hujan (wet deposition/pengendapan basah)

ii. Kimia Atmosfer

Nasib polutan di udara ditemukan gerakan partikel dan ada reaksi kimia berlanjut di atmosfer. Reaksi kimia ini dapat memproduksi zat-zat kimia baru sebagai kombinasi dari zat-zat yang ada dan hasil ini akan merubah tingkat toksisitas pencemaran.

Contoh:

Hujan Asam (terbentuk dari polutan Sulfur dioksida dan Nitrogen dioksida melalui reaksi oksidasi yang berasal dari oksidan).

- Oksidan terbentuk karena reaksi fotokimia
- Contoh oksidan : H_2O_2 , O_3

b. Air

1) Air dan Pencampuran

Klaus : Andaikan Anda mengambil air dari salah satu punggir danau, sementara itu bagian ujung yang lain merupakan timbunan dan buangan zat-zat yang mencemari ? Bagaimana pendapat Anda mengenai pemaparan ini ?

Beberapa pertimbangan :

- o Tingkat pelarut
- o Tingkat Penguapan
- o Tingkat penggelontoran
- o Tingkat pencampuran
- o Terjadinya biokonsentrasi

2) Proses Kimia Dalam Air

- a. Proses ionisasi dapat mengubah tingkat toksisitas
- b. Suhu air mempengaruhi kecepatan reaksi
- c. Organisme perairan
- d. Kadar O_2 dan pH

3. Latihan : Berfikir kritis (identifikasi, analisis dan evaluasi)

Sediakan satu produk dari kosmetik seperti pemutih wajah. Identifikasilah kandungan bahan yang ada sebagai

pemutih. Analisislah mekanisme kerja bahan tersebut. Evaluasilah dampaknya terhadap kulit

6. Rangkuman

Keberadaan bahan toksik di lingkungan dapat berada di dalam ruangan atau di luar ruangan. Sumber bahan toksik dapat dari udara, tanah, air dan produk konsumsi seperti kosmetik, makanan maupun minuman. Kondisi-kondisi yang spesifik di lingkungan dapat memperparah atau memperpanjang toksisitas bahan. Seperti halnya di udara karena pengaruh inversi udara, ventilasi alamiah, pergerakan menurut arah angin, pengendalian dan kimia atmosfer. Demikian pula kondisi di perairan karena ada aliran dan pencampuran maupun proses kimia dalam air.

C. Evaluasi

1. Jelaskan 2 sumber bahan toksik di lingkungan udara, air, tanah dan makanan
2. Identifikasilah kondisi yang menyebabkan tingkat toksistas menjadi lebih tinggi di udara pada malam hari
3. Jelaskan dinamika penyebaran bahan toksik dari suatu daerah hutan yang terbakar.

D. Daftar Bacaan

- Kusnopranto, H. 2005. Toksikologi Lingkungan. Jakarta : Fakultas Kesehatan Masyarakat dan Pusat Penelitian Sumberdaya Manusia dan Lingkungan Universitas Indonesia.
- Lu, Frank C. 2006. Basic Toxicology. Washington : Hemisphere Publishing Corporation.
- Mukono, H. J. 2006. Toksikologi Lingkungan. Surabaya : Airlangga University Press.

BAB IV ABSORPSI, DISTRIBUSI, BIOTRANSFORMASI DAN EKSKRISI TOKSIKAN

A. Pendahuluan

1. Deskripsi

Bab ini mempelajari ruang lingkup tentang aliran toksikan di lingkungan sampai pada organisme yang melalui proses absorpsi, distribusi, biotransformasi dan eksresinya.

2. Tujuan Pembelajaran.

Setelah mempelajari buku ini mahasiswa dapat :

1. mengidentifikasi aliran toksikan di lingkungan
2. mengidentifikasi aliran toksikan dari lingkungan menuju organisme
3. mendeskripsikan konsep tentang absorpsi, distribusi, biotransformasi dan ekskresi toksikan.

B. Materi

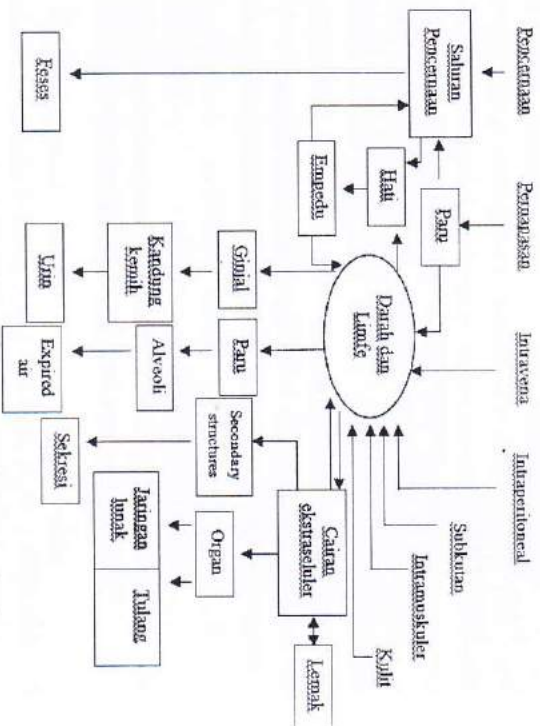
1. Aliran Toksik dalam Lingkungan

Bahan toksik dapat digunakan dalam jumlah yang terbatas serta dilakukan *recycling* untuk merubah yang bersifat toksik menjadi non toksik. Sebagian bahan kimia (toksik) dengan pola emisi akan masuk ke dalam lingkungan. Toksik masuk ke *Troposphere* dan *Stratospher*. Bahan toksik yang sudah berada di air tanah akan masuk ke dalam tanaman dan masuk pula ke *troposphere*, akhirnya dengan proses tertentu akan sampai pada manusia dan makhluk hidup lainnya.

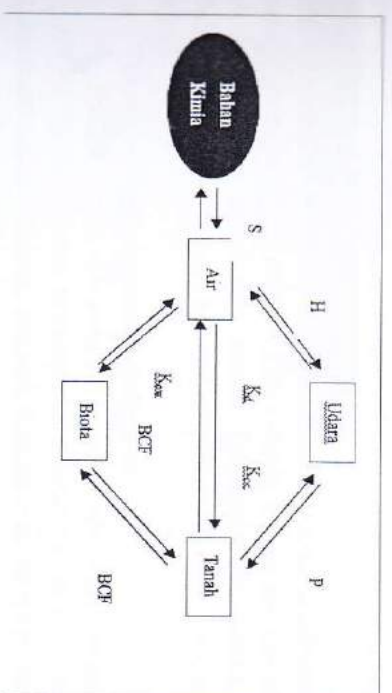
2. Aliran Toksik dalam Tubuh

Toksikan setelah mengalami perjalanan panjang dalam lingkungan maka secara umum akan masuk kedalam tubuh manusia melalui jalur pencernaan (*ingestion*), Pernapasan

(*inhalation*) dan kontak dengan kulit (*dermal*). Secara khusus dengan rekayasa manusia sendiri, toksikan dapat pula masuk ke dalam tubuh dengan jalan *intravenous*, *intraperitoneal*, *subcutaneous*, dan *intramuscular*.



Gambar 4.1 Aliran Toksik dalam Tubuh
(Sumber: Nanda, 2012)

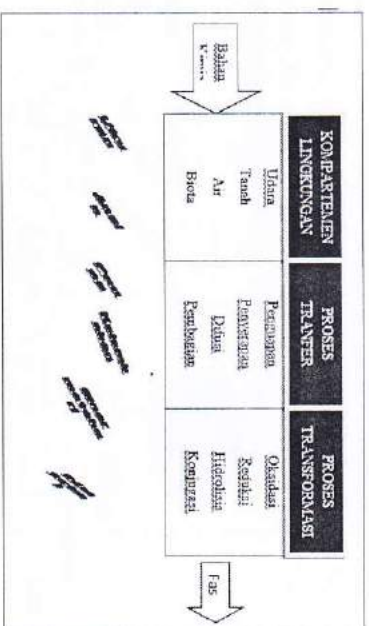


Gambar 4.2 Aliran Toksik dalam Lingkungan
(Sumber: Nanda, 2012)

3. Perjalanan Bahan Kimia (Xenobiotik/ Toksikan) Dalam Lingkungan

Suatu bahan yang bersifat toksik (xenobiotik/toksikan) dapat ditinjau dari beberapa hal, yaitu terjadinya toksikan tersebut, pemakaian, selektivitas, dan aplikasi bahan toksikan/xenobiotik. Toksikan akan mengalami empat proses dalam suatu organisme yaitu *absorption*, *distribution*, *metabolism*, dan *excretion*.

- S = Saturated water solubility
- P = Vapor Pressure
- Kow = Octanol water partition coefficient (conc in octanol/conc in water)
- BCF = Bioconcentrationfactor (conc in organism/conc in medium)
- H = Hent's law constant (conc in air/conc in water)
- Kd = Soil sorption coefficient (conc in soil/conc in water)
- Koc = Soil sorption coefficient expressed on organic carbon basis



Gambar 4.3 Perjalanan Bahan Kimia
(Sumber: Nanda, 2012)

4. Proses Yang Dialami Oleh Bahan Toksik Dalam Suatu Organisme

Proses yang dialami diantaranya:

- Absorpsi
- Distribusi
- Biotransformasi/metabolisme
- Ekskresi

Absorpsi, distribusi, metabolisme dan ekskresi toksikan merupakan hal yang penting dalam menilai efek toksik dari suatu bahan kimia di samping sifat-sifat zat kimianya sendiri apakah zat kimia tersebut merupakan senyawa organik atau anorganik, apakah mudah terionisasi atau tidak, dan sebagainya.

a. Absorpsi Toksik

Absorpsi merupakan perpindahan xenobiotik dari luar organisme menuju ke aliran darah dari organisme. Proses absorpsi toksikan dalam tubuh dapat melalui saluran pencernaan, saluran pernapasan (paru) dan kulit. Aturan jalur khusus seperti injeksi intraperitoneal, intramuskul dan kulit. Aturan jalur khusus seperti injeksi

intraperitoneal, intramuskul dan subkutan, sering digunakan dalam studi toksikologi.

Bahan toksik akan diserap oleh tubuh melalui saluran pernapasan, kulit dan saluran pencernaan kemudian masuk ke dalam aliran darah dan sistem kelenjar getah bening. Bahan toksik tersebut kemudian diangkut ke seluruh tubuh.

o Via saluran pernapasan (inhalation)

Faktor yang berpengaruh pada absorpsi bahan toksik dalam sistem pernapasan adalah bentuk bahan misalnya gas dan uap; aerosol; dan ukuran partikel; zat yang terlarut dalam lemak dan air. Saluran pernapasan dapat mengabsorpsi bahan toksik dalam jumlah besar karena area permukaan yang luas dan aliran darah yang cepat.

o Via kulit

Kulit terdiri dari tiga lapisan yaitu epidermis (lapisan terluar), dermis (lapisan tengah), hypodermis (lapisan paling dalam). Bahan toksik paling banyak terabsorpsi melalui lapisan epidermis tergantung pada kondisi kulit, ketipisan kulit, kelarutannya dalam air dan aliran darah pada titik singgung.

o Via saluran pencernaan (ingestion)

Absorpsi bahan toksik dapat terjadi di sepanjang saluran pencernaan (gastro-intestinal tract). Faktor yang mempengaruhi terjadinya absorpsi adalah sifat kimia dan fisik bahan tersebut serta karakteristiknya seperti tingkat keasaman atau kebasaan.

➤ Absorpsi Toksik Pada Saluran Pencernaan Makanan

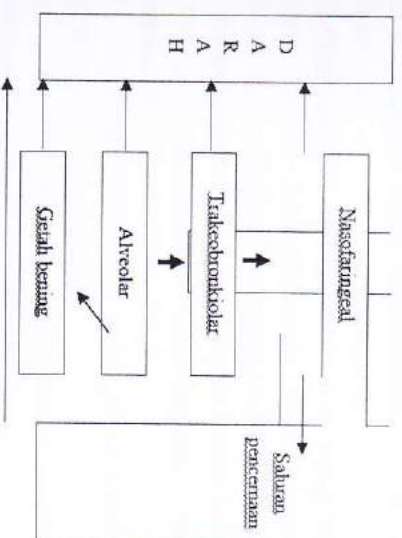
Saluran pencernaan makanan merupakan salah satu jalur penting dari absorpsi toksikan. Lambung merupakan tempat penyerapan yang baik untuk asam lemak dengan bentuk non-ion yang larut dalam lemak. Organ pencernaan lainnya adalah usus

Kecil (Intestin). Usus kecil (intestin) merupakan organ penting dalam proses penyerapan, karena :

1. Banyak *fili* (bulu sepanjang *intestin* sebagai alat penyerapan).
2. Pertukaran dengan darah berlangsung baik.
3. Mempunyai lapisan sel tipis (sebagai barrier) dengan tebal satu lapis sel.
4. Melibatkan asam empedu.

✦ Absorpsi Toksik pada Paru

Toksikan yang diabsorpsi di paru, biasanya berupa gas : CO, NO₂, SO₂, uap benzene, uap karbon tetraklorida dan aerosol. Proses penimbunan aerosol ditentukan oleh ukuran partikelnya. Absorpsi gas CO oleh paru sering menyebabkan kematian. Partikel dengan penampang 5µm akan dideposit pada regio nasofaringeal. Partikel dengan penampang 2 µm sampai 5µm dideposit pada regio trakeobronkiolar yang secara fisiologis dibersihkan dengan gerakan silia pada selaput lendir trakeobronkiolar. Partikel dengan penampang 1 µm atau yang lebih kecil akan mengalami penetrasi pada *sacus alveolaris* yang sebagian dari partikel akan mengalami pembersihan oleh *macrophage* dan sebagian lainnya akan diabsorpsi dalam darah. Zona alveolar merupakan bagian dalam paru dengan permukaan seluas 50 sampai 100 m².



Gambar 4.4 Absorpsi Toksik pada Paru
(Sumber: Nanda, 2012)

✦ Absorpsi Toksik pada Kulit

Kulit merupakan bagian tubuh yang dirancang untuk mencegah penyerapan supaya tidak mudah terjadi keracunan. Kerja kulit sebagai barrier sangat efektif karena beberapa faktor sebagai berikut :

1. Area permukaannya terbatas
2. Terdiri atas beberapa lapisan sel yang cukup tebal.
3. Stratum corneum : pemisah yang berbeda antara lapisan keratin dengan sel kering yang terbungkus rapat bahan *lipofik* dan dapat berpindah karena sifat yang dimilikinya.

✦ Faktor yang Mempengaruhi Proses Pengambilan (Uptake)

Xenobiotik berpindah dengan transport pasif yang dikendalikan oleh perbedaan konsentrasi dan tidak memerlukan energi (kondisi lebih pekat atau kadar lebih besar di dalam daripada di luar). Proses

diffusi dapat dijelaskan dengan hukum Ficks seperti di bawah ini :

Hukum Ficks $ID = K.A (C_2 - C_1)$

d

ID = Laju difusi

K = Konstanta difusi

A = Area

$C_2 - C_1$ = Perbedaan konsentrasi

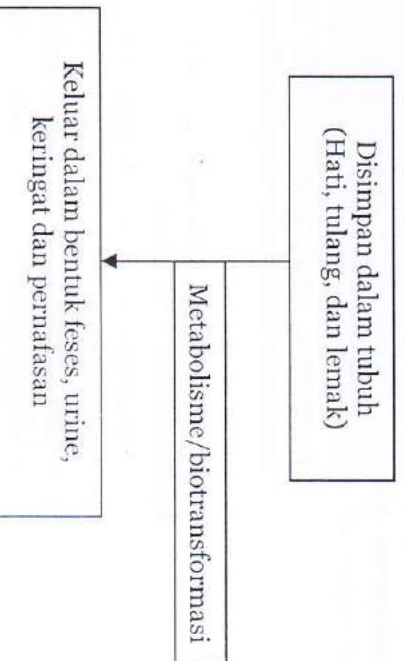
D = Ketebalan

❖ Transport Aktif

- Transport aktif : Xenobiotik terserap dengan menggunakan protein pembawa yang tertanam yang dalam struktur membran yang berlaku sebagai kendaraan pengangkut dan memerlukan energi.
- Contoh : Timbal dalam GIT (gastrointestinal tract) ada protein pengangkut untuk Ca^{++} .

b. Distribusi Toksik

Setelah absorpsi bahan toksik terjadi, maka bahan tersebut didistribusikan ke seluruh tubuh melalui darah, kelenjar getah bening atau cairan tubuh yang lain oleh darah. Distribusi bahan beracun tersebut :



Bagian Tubuh yang Berhubungan dengan Distribusi Toksik

1. Protein Plasma dapat mengikat senyawa asing dan beberapa komponen fisiologis normal dalam tubuh.
2. Liver dan ginjal memiliki kapasitas yang lebih tinggi dalam mengikat bahan kimia sehingga bahan kimia lebih banyak terkonsentrasi dibandingkan orang yang lain.
3. Lemak : tempat penyimpanan yang paling penting bagi zat yang larut dalam lemak
4. Tulang dapat berfungsi tempat penyimpanan untuk senyawa seperti flauride, Pb dan strontium.

✓ Distribusi/ Persebaran Zat Xenobiotik

- Pada Tubuh Manusia:
 - Pada keracunan bahan neorotoksik, maka bahan racun tersebut akan menuju otak.
 - Bahan toksik akan dapat ditimbun pada tubuh, misalnya terjadi akumulasi pada jaringan lemak, otot dan tulang.
 - Metabolisme semua bahan toksik akan diproses dan dilakukan dalam liver.
 - Setelah melalui proses di dalam tubuh sisanya akan diekskresi.
- Pada Tanaman
 - Zat toksik berada dalam xilem ada kecenderungan berpindah ke daun (berkaitan dengan transpirasi). Untuk zat toksik dalam floem cenderung berpindah ke area pertumbuhan berlangsung cepat.

✓ Efektivitas Sel sebagai Barrier

- Jika *junction* sel mengendur, mengakibatkan menjadi jalan yang mudah bagi zat toksik untuk memasuki sel atau organ. Untuk barrier antara darah dan otak,

dihubungkan oleh sel indotel dan xenobiotik yang bersifat termofilik akan dengan mudah melintasi sel endotelial dan memasuki jaringan otak.

- o Bahan toksik pestisida yang bersifat lipofilik akan dengan mudah melintasi pada *glándula mamma* sehingga dengan mudah pula pestisida akan masuk ke dalam air susu yang mengandung 1% lemak.

✓ **Redistribusi Bahan Xenobiotik**

- o Bahan xenobiotik didistribusi tergantung waktu.
- o Bahan xenobiotik timbal yang diserap melalui makanan akan didistribusi ke jaringan lain.
- o Redistribusi logam akan lebih mudah ke jaringan yang kaya vesikularisasi dibandingkan redistribusi ke tulang.

✓ **Resirkulasi Enterohepatik**

Pada dasarnya mengacu pada resirkulasi bahan xenobiotik dengan empedu dalam liver menuju ke usus kecil dan berpotensi diserap kembali ke dalam peredaran darah.

c. **Biotransformasi Toksikan**

Merupakan proses perubahan senyawa toksik dalam tubuh. Pada akhirnya kebanyakan senyawa aktif akan mengalami perubahan menjadi senyawa tidak aktif dan lebih mudah diekskresi, sehingga efek toksik tersebut akan hilang. Proses metabolisme ini bisa terjadi diseluruh jaringan tubuh, dimana hati merupakan organ metabolisme senyawa toksik yang paling utama. Zat-zat yang masuk ke dalam tubuh manusia akan mengalami beberapa proses biologik. Proses biologik ini umumnya merupakan aksi tubuh untuk mengurangi toksisitas zat kimia yang asing bagi tubuh.

Biotransformasi terutama terjadi di hati karena organ ini kaya akan enzim-enzim metabolik. Namun sebenarnya semua sel yang terdapat di tubuh mempunyai kemampuan untuk mengubah zat-zat asing secara kimiawi.

Transformasi metabolik adalah suatu proses dimana zat kimia diubah menjadi derivat lain (metabolit) dalam tubuh manusia. Proses ini menyebabkan terbentuknya metabolit yang lebih mudah larut dalam air, tidak mudah larut dalam lemak, dan yang mempunyai polaritas tinggi sehingga lebih mudah diekskresi. Biotransformasi biasanya akan menyebabkan terbentuknya metabolit yang kurang toksik. Sebagai contoh, benzena akan dioksidasi dan membentuk fenol.

Namun kadang-kadang biotransformasi justru menghasilkan metabolit yang lebih toksik dari zat asalnya. Contohnya oksidasi methanol akan membentuk formaldehid dan toksisitasnya lebih tinggi dari methanol. Demikian pula vinyl klorida yaitu suatu zat kimia yang dapat menyebabkan kanker paru, kanker hati, dan kanker otak; dalam tubuh akan dioksidasi dan membentuk epoxy yang reaktif. Dan metabolit ini merupakan karsinogen yang sebenarnya.

● Metabolisme toksikan dalam tubuh manusia ada beberapa faktor sebagai berikut :

- a. Adanya bahan toksik atau bahan toksikan.
 - b. Pemakaian bahan toksik atau bahan toksikan.
 - c. Selektivitas bahan toksik atau bahan toksikan.
- Proses metabolisme bahan toksik : Tingkat keracunan atau bahan toksik tersebut dan kualitas serta kuantitas yang disebabkan oleh bahan toksik.

d. **Ekskresi Toksikan**

Ekskresi bahan toksik dapat terjadi melalui pembuangan udara atau pernapasan, dan dari sekresi

melalui keringat, air susu, feses dan urine. Toksikant dikeluarkan dalam bentuk asal, sebagai metabolit dan atau konjugat.

a. Ekskresi urine

Ginjal membuang toksikan dari tubuh dengan mekanisme yang serupa dengan mekanisme yang digunakan untuk membuang hasil akhir metabolisme faali, yaitu dengan filtrasi glomerulus, difusi tubuler dan sekresi tubuler.

b. Ekskresi empedu

Hati juga merupakan alat tubuh yang penting untuk ekskresi toksikan, terutama untuk senyawa yang polaritasnya tinggi (anion dan kation), konjugat yang terikat pada protein plasma, dan senyawa yang BM-nya lebih besar dari 300. Pada umumnya begitu senyawa ini berada dalam empedu, senyawa ini tidak akan diserap kembali ke dalam darah dan dikeluarkan lewat feses. Tetapi ada pengecualian, misalnya konugat glukuronoid yang dapat dihidrolisis oleh flora usus menjadi toksikan bebas yang diserap kembali.

c. Alat pernapasan

Zat yang berbentuk gas pada suhu badan terutama diekskresikan melalui alat pernapasan. Cairan yang mudah menguap juga dengan mudah keluar lewat udara eksprasi. Cairan yang mudah larut misalnya klorofom dan halotan mungkin diekskresikan sangat lambat karena ditimbun dalam jaringan lemak dan karena terbatasnya volume ventilasi. Ekskresi toksikan melalui alat pernapasan terjadi karena difusi sederhana lewat membran sel.

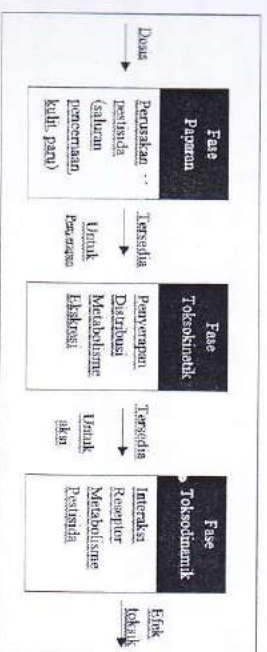
d. Jalur lain

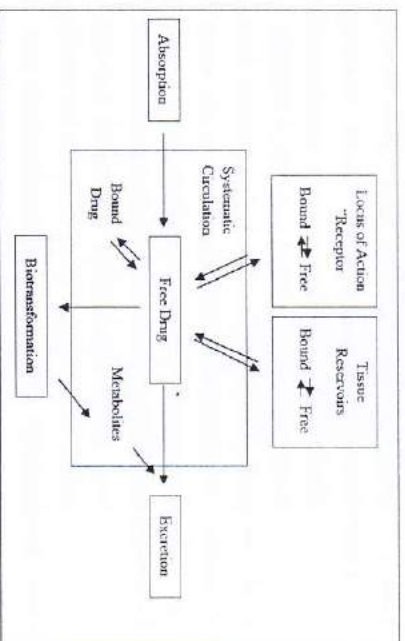
Saluran cerna bukan jalur utama ekskresi toksikan. Oleh karena lambung dan usus mahluk

hidup masing-masing mesekresi kurang lebih tiga liter cairan setiap hari, maka beberapa toksikan dikeluarkan bersama cairan tersebut. hal ini terjadi terutama lewat difusi sehingga lajunya bergantung pada pKa toksikan dan pH lambung dan usus.

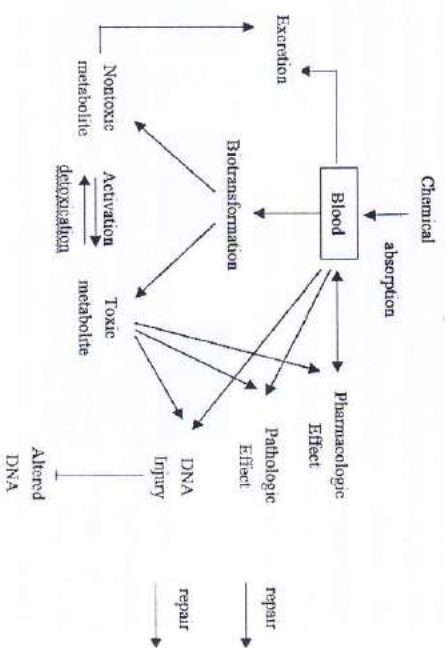
Ekskresi toksikan lewat air susu ibu (ASI), ditinjau dari sudut toksikologi amat penting karena lewat air susu ibu ini racun terbawa dari ibu kepada bayi yang disusui. Ekskresi ini terjadi melalui difusi sederhana. Oleh karena itu seorang ibu yang sedang menyusui harus berhati-hati dalam hal makanan terutama kalau sedang mengkonsumsi obat.

• **Rute ekskresi yang menjadi lintasan utama diantaranya ginjal :** organ penting untuk mengeluarkan racun; liver dan sistem empedu penting dalam ekskresi seperti DDT dan timbal; paru-paru berperan dalam ekskresi gas seperti karbon monoksida.





Gambar 4.5 Rute Ekskresi
(Sumber: Nanda, 2012)



Gambar 4.6 Biotransformasi Bahan Kimia
(Sumber: Mansyur, 2002)

Efek toksik dari bahan-bahan kimia sangat bervariasi dalam sifat, organ sasaran maupun mekanisme kerjanya. Beberapa bahan kimia dapat menyebabkan cedera pada tempat bahan itu mengenai tubuh (efek lokal), bisa

juga efek sistemik setelah bahan kimia di serap dan tersebar ke bagian orang lainnya. Efek toksik ini dapat bersifat reversibel artinya dapat hilang dengan sendirinya atau efek ireversibel yaitu akan menetap atau bertambah parah setelah pajanan toksikan dihentikan.

6. Contoh Bahan Toksik yang Dapat Terabsorpsi oleh Makhluk Hidup

- Pb (timbal), Cd (cadmium) atau Cr (chromium), limbah deterjen (surfaktan), limbah MSG, emisi logam di udara, dan lain-lain. Adapun senyawa organik yang bisa masuk umumnya adalah yang bersifat mudah larut dalam lemak seperti gasoline atau bahan pembuat thinner. Sedangkan bahan kimia yang larut dalam air, susah untuk diserap.

6. Latihan (Analisis dan evaluasi)

Pada suatu perairan (tambak) yang tercemar logam Pb ternyata masih produktif menghasilkan ikan yang dibudidayakan.

1. Analisislah bagaimana kondisi dari ikan-ikan yang masih hidup tersebut
2. Ajukan satu solusi tentang keamanan untuk dikonsumsi !

7. Rangkuman

Sebelum bahan beracun sampai ke dalam tubuh organisme, maka bahan tersebut berada di lingkungan. Mekanisme perpindahan terjadi melalui aliran toksikan di lingkungan yang selanjutnya dari lingkungan berpindah pada organisme dan terjadi aliran toksikan dalam tubuh organisme. Perjalanan toksikan dalam tubuh organisme terjadi melalui mekanisme absorpsi, distribusi, biotransformasi dan ekskresi toksikan.

C. Evaluasi

1. Identifikasilah aliran toksikan di lingkungan!
2. Identifikasilah aliran toksikan dari lingkungan menuju organisme!
3. Jelaskan konsep tentang absorpsi, distribusi, biotransformasi dan ekskresi toksikan!

D. Daftar Bacaan

- Kusnoputranto, H. 2005. Toksikologi Lingkungan. Jakarta : Fakultas Kesehatan Masyarakat dan Pusat Penelitian Sumberdaya Manusia dan Lingkungan Universitas Indonesia.
- Lu, Frank C. 2006. Basic Toxicology. Washington : Hemisphere Publishing Corporation.
- Mansyur, dakt. 2002. Toksikologi. Fakultas kedokteran: Universitas Sumatera Utara.
- Mukono, H. J. 2006. Toksikologi Lingkungan. Surabaya : Airlangga University Press.
- Nanda, Muhammad. 2012. Proses Absorpsi, Distribusi dan Ekskresi zat asing.(online), <http://muhammadnanda.wordpress.co.id>.

BAB V FAKTOR YANG MEMPENGARUHI TINGKAT KERACUNAN DAN EFEK TOKSIK

A. Pendahuluan

1. Deskripsi

Toksistas adalah kemampuan suatu bahan atau senyawa kimia untuk menimbulkan kerusakan pada saat mengenai bagian dalam atau permukaan tubuh yang peka. Uji toksistas digunakan untuk mempelajari pengaruh suatu bahan kimia toksik atau bahan pencemar terhadap organisme tertentu. Pelaksanaan uji toksistas diawali dengan tahap aklimasi (*acclimation*), kemudian dilanjutkan pada uji pendahuluan (*exploratory test*), uji orientasidan uji eksperimen.

B. Tujuan Pembelajaran

1. Mahasiswa mampu mengidentifikasi tahapan dalam prosedur pengujian
2. Mahasiswa mampu membandingkan ciri-ciri setiap tahapan dalam prosedur pengujian
3. Mahasiswa mampu merencanakan persiapan penelitian dengan uji toksistas tahapan aklimatisasi
4. Mahasiswa mampu terampil melakukan tahapan aklimatisasi prosedur pengujian
5. Mahasiswa mampu mengkomunikasikan hasil secara tertulis dan lisan

C. Materi

1. Faktor Fisik Bahan Kimia (*physical properties*)

Bahan kimia yang terdapat di tempat kerja dapat berbentuk gas, uap, debu, *fume*, *mist* (Kabut), ataupun *fog*. Timah hitam berbentuk *fumes* lebih toksik dari bentuk

debuanya karena ukuran *fumes* sangat kecil. Larutan yang mempunyai tekanan uap (*vapor pressure*) yang tinggi (misalnya: benzene) lebih toksik dari larutan yang tekanan uapnya lebih rendah (misalnya: toluene) sekalipun dua zat ini tergolong zat-zat kimia yang toksistasnya tinggi.

2. Faktor Kimiawi Bahan Kimia (*chemical properties*)

Karakteristik kimiawi suatu zat antara lain menyangkut daya larut (dalam air maupun lemak), jenis persenyawaan, konsentrasi dan berat molekul. Gas-gas yang sangat mudah larut dalam air (ammonia dan sulfur dioksida) bila dihirup pada kadar yang rendah akan menyebabkan iritasi pada mukosa saluran pernafasan atas (rhinitis, faringitis, laryngitis, dan bronchitis). Gas-gas ini setelah terhirup akan segera larut dalam air yang terdapat pada permukaan mukosa saluran pernafasan atas sehingga lesi atau kerusakan jaringan akan terjadi pada daerah tersebut. Sedangkan gas-gas yang tidak mudah larut dalam air (nitrogen dioksida, ozon, fosgen) dapat dengan mudah mencapai saluran pernafasan bagian bawah (alveoli). Gas-gas yang daya larutnya dalam air tergolong sedang (klor, fluor) akan menyebabkan iritasi baik pada saluran pernafasan bagian atas maupun bagian bawah.

3. Faktor Dosis/Konsentrasi

Semakin besar jumlah bahan kimia yang masuk ke dalam tubuh, maka semakin besar pula efek keracunan yang ditimbulkan. Bentuk yang konsentrasinya pekat akan menimbulkan efek keracunan yang lebih parah. Hal berikut dapat diformulasikan oleh formula Heber sebagai berikut:

$$E = T \times C$$

E = efek akhir yang terjadi

T = time (waktu)

C = *concentration* (konsentrasi)

Sasaran upaya perlindungan tenaga kerja dari resiko keracunan ialah menurunkan sekecil mungkin faktor E, dan untuk itu dikenal NAB (nilai ambang batas) untuk mengatur faktor C dan faktor T.

4. Faktor Karakteristik Individu

Efek bahan kimia terhadap kesehatan juga dipengaruhi oleh faktor karakteristik individu yang terkena papara.

a. Usia

Anak-anak lebih rentan terhadap racun daripada orang dewasa. Demikian pula orang yang telah berusia lanjut dimana kapasitas kardiovaskuler mereka telah banyak mengalami penurunan karena proses menua (*Aging Process*) lebih rentan terhadap efek zat-zat kimia misalnya CO.

b. Jenis Kelamin

Pekerja wanita umumnya tidak merokok dan tidak/jarang mengonsumsi alkohol. Kedua faktor ini menyebabkan mereka relatif lebih tahan/resisten terhadap zat-zat kimia daripada pekerja laki-laki.

Faktor lain yang membuat pekerja wanita lebih resisten diantaranya pekerja wanita memiliki deposit lemak lebih banyak sehingga bahan-bahan kimia yang larut dalam lemak akan lebih banyak tertimbun pada lapisan lemak sehingga lebih inaktif.

Kadar estrogen wanita yang lebih tinggi daripada laki-laki juga membuat wanita lebih resisten. Estrogen merupakan hormon yang diproduksi terutama oleh ovarium dan sebagian oleh ginjal pada bagian korteks adrenal. Dalam tubuh kita berfungsi antara lain untuk pertumbuhan secara normal, serta untuk memelihara kesehatan tubuh pada orang dewasa, baik pada wanita maupun pada laki-laki. Khusus pada wanita, hormon ini perannya lebih luas, tidak saja berfungsi sebagai sistem reproduksi, tetapi berfungsi untuk tulang, jantung, dan

ungkinan juga otak. Kadar estrogen yang lebih tinggi pada wanita membuatnya lebih mampu bertahan dari akibat paparan bahan beracun berkaitan dengan fungsi-fungsi estrogen di atas.

Proses fisiologis yang berbeda dari laki-laki juga menjadikan wanita lebih resisten. Proses fisiologis yang berbeda dari laki-laki menjadikan wanita dapat mengekskresikan zat beracun melalui darah menstruasi setiap bulannya, kelenjar air susu jika sedang menyusui, dan diturunkan ke janin jika sedang hamil.

Namun demikian, laki-laki lebih rentan terhadap bahan yang bersifat racun terhadap ginjal (nefrotoksin). Sedangkan wanita lebih rentan terhadap bahan yang bersifat racun terhadap hati (hepatotoksik).

c. Kebiasaan Merokok dan konsumsi Alkohol

Pekerja yang merokok khususnya perokok berat, lebih rentan terhadap efek karsinogenik zat kimia (misalnya asbes) dan efek gabungan atau interaksi antara merokok dan pemaparan asbes sifatnya adalah sinergistik (terhadap paru, dan menimbulkan kanker paru). Sedangkan konsumsi alkohol yang berlebihan akan mempengaruhi proses detoksikasi timah hitam, pestisida dan PCBs (*polychlorinated biphenyls*).

d. Status Gizi dan Kesehatan

Pekerja yang menderita penyakit paru obstruktif yang menahun dan terpapar debu atau aerosol akan memperburuk penyakit paru yang sedang dideritanya. Atau pekerja tadi akan lebih rentan terhadap efek debu atau aerosol yang terpapar padanya. Sedangkan defisiensi protein, zat besi, atau kalsium akan mengakibatkan meningkatnya daya absorpsi terhadap timah hitam ke dalam darah apabila di lingkungan kerjanya terdapat paparan timah hitam.

e. Kelainan Genetik

Beberapa kelainan genetik dapat mengakibatkan kerentanan individu terhadap efek beberapa bahan kimia menjadi meningkat. Kelainan-kelainan genetik tersebut misalnya:

1). Status Atopi

Atopi adalah suatu keadaan dimana tes kulit penderita menunjukkan reaksi positif terhadap alergen lingkungan (*environmental allergen*). Peran status atopi sebagai faktor predisposisi penyakit saluran pernafasan karena alergi biasanya tidaklah besar. Kurang lebih sepertiga dari populasi dapat menunjukkan kelainan genetik ini, dan oleh karena itu adalah tidak beralasan jika pada screening kita menolak mereka atas dasar kelainan ini kecuali bila kadar alergen dalam udara di tempat kerja sangat tinggi atau jika zat kimia yang terpapar merupakan alergen yang kuat (*potent sensitizer*) seperti garam-garam dari platina. Isosianat (*toluen diisocyanate/TTDI*) yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan busa *polyurethane* adalah tergolong sensitizer dan respon imunologik dari setiap individu terhadap zat ini sangat bervariasi.

b. Defisiensi *glycose-6-phosphate dehydrogenase* (G6PD)

Enzim G6PD terdapat dalam sel darah merah. Defisiensi terhadap enzim ini akan menyebabkan kepekaan seseorang terhadap anemi hemolitik meningkat. Diperkirakan kurang lebih 11% dari masyarakat kulit hitam laki-laki menunjukkan kelainan genetik ini. Karena itu screening perlu dilakukan bagi mereka yang menunjukkan kelainan genetik ini dan terpapar *haemolytic agents* seperti: *arsine*, *butyl*, *cellosolve*, *naphthalene*, *phenylhydrazine*, dan *stibine*.

c. Defisiensi Serum Total Alpha 1-antitrypsin (SAT)

Defisiensi zat ini akan menyebabkan seseorang lebih rentan terhadap zat-zat kimia yang dapat menimbulkan kerusakan pada alveoli. Oleh karena itu, perlu dilakukan screening terhadap mereka yang menunjukkan kelainan genetik ini dan terpapar zat iritan (*respiratory irritants*) seperti kadmium.

5. Faktor Pemaparan

a. Pemaparan Tunggal dan Pemaparan Berulang

Pada pola pemaparan yang berbeda, beberapa zat kimia akan menunjukkan efek toksik yang berbeda. Sebagai contoh: pada *single exposure* dalam dosis tinggi, benzena akan menyebabkan depresi pada sistem saraf pusat, sedangkan pada pemaparan berulang (*repeated exposure*) benzena akan menyebabkan *aplastic anemia* dan leukemia.

b. Lama dan Frekuensi Pemaparan

1). Pemaparan akut (*acute exposure*)

Yaitu pemaparan yang terjadi dalam waktu kurang dari 24 jam. pada pemaparan akut, zat-zat kimia masuk ke dalam tubuh melalui: *intraperitoneal*, *intravenous*, *subcutaneous injection*, *oral intubation*, dan *dermal application*. Pemaparan akut dapat juga menimbulkan *delayed toxicity* yang dapat menyerupai atau berbeda dengan efek toksik yang akan timbul pada pemaparan yang menahun.

2). Pemaparan subakut (*subacute exposure*)

Yaitu pemaparan yang berlangsung selama satu bulan atau kurang.

3). Pemaparan subkronik (*subchronic exposure*)

Yaitu pemaparan yang berlangsung selama 1-3 bulan.

4). Pemaparan menahun (*chronic exposure*)

Pemaparan yang berulang terhadap suatu zat kimia selama tiga bulan atau lebih. Efek toksik yang menahun (*chronic toxic effects*) timbul karena terjadi akumulasi zat kimia dalam sistem biologik (absorpsi

lebih biotransformasi dan atau ekskresi) atau bila zat kimia yang masuk ke dalam tubuh menimbulkan efek toksik yang sifatnya *irreversible*.

6. Efek Toksik terhadap Tubuh

a. Efek Idiosinkrasi dan Alergi

Reaksi alergi (disebut juga hipersensitivitas atau sensitisasi) terhadap tosinan disebabkan oleh sensitisasi sebelumnya oleh toksikan itu atau bahan lain yang mirip secara kimiawi. Bahan kimia tersebut membentuk antigen yang merangsang pembentukan antibodi. Paparan berikutnya akan menghasilkan interaksi antigen-antibodi berupa reaksi alergi. Jadi reaksi ini berbeda dengan efek toksik biasa. Dan selalu dibutuhkan pejanan awal.

Umumnya reaksi idiosinkrasi didasari oleh faktor keturunan yang menyebabkan reaktivitas abnormal terhadap bahan kimia tertentu. Sebagai contoh, seorang yang menderita kelainan genetik ini akan menunjukkan gejala relaksasi otot dan *apnea* (tidak bernafas) selama beberapa jam setelah pemberian *succinylcholine* pada dosis standar. *Succinylcholine* biasanya menimbulkan relaksasi otot hanya dalam waktu singkat saja karena zat ini dapat dimetabolisir dalam waktu singkat oleh tubuh.

b. Efek Toleransi

Toleransi adalah suatu keadaan dimana respon tubuh terhadap efek toksik suatu zat kimia telah menurun karena pemaparan yang sebelumnya atas zat kimia tersebut atau zat kimia lain yang mirip secara kimiawi. Contoh dari efek toleransi adalah kasus over dosis pada penyalahgunaan narkotika.

c. Efek Lokal dan Sistemik

Bahan kimia tertentu dapat menimbulkan luka dan kerusakan jaringan pada tempat kontak, dapat di kulit,

saluran pernafasan maupun saluran pencernaan. Contohnya bahan yang bersifat korosif dan iritatif. Sedangkan efek sistemik terjadi setelah bahan berbahaya masuk, diserap dan didistribusikan ke seluruh tubuh.

Kebanyakan bahan toksik mempunyai efek paling parah pada suatu atau beberapa organ tertentu yang disebut sebagai target organ. Contohnya target organ meil mekuri ialah otak, tetapi konsentrasi tertinggi ada di hati dan ginjal. Target organ DDT ialah susunan saraf pusat, akan tetapi konsentrasi tertinggi di jaringan lemak.

d. Efek Reversibel dan Ireversibel

Dikatakan reversibel bila efek yang terjadi hilang dengan dihentikannya pajanan bahan berbahaya. Sebaliknya dikatakan ireversibel bila efek yang terjadi terus menerus bahkan bertambah parah walaupun pajanan sudah dihentikan. Contoh efek ereversibel misalnya karsinoma, mutasi, kerusakan saraf, dan sirosis hati. Umumnya efek reversibel terjadi bila pajanannya dengan konsentrasi rendah dan dalam waktu singkat, sedangkan efek ireversibel terjadi bila pajanan dengan konsentrasi tinggi dan dalam waktu yang lama.

e. Efek Langsung dan Tertunda

Efek langsung adalah efek toksik yang segera terjadi setelah pajanan. Umumnya toksikan akan mengakibatkan efek langsung, contohnya keracunan sianida, terutama bila konsentrasinya cukup tinggi. Sedangkan efek tertunda (*delay*) ialah efek yang terjadi beberapa waktu setelah pajanan. Contohnya: efek karsinogen yang terjadi setelah beberapa tahun pajanan.

7. Mekanisme Kerja Efek Toksik

Fase toksodinamik adalah interaksi antara toksin dengan reseptor (tempat kerja toksik) dan juga proses-proses yang terkait dimana pada akhirnya muncul efek toksik / farmakologik. Farmakolog mengolongkan efek yang muncul berdasarkan manfaat dari efek tersebut, seperti:

- efek terapeutis, efek hasil interaksi xenobiotika dan reseptor yang diinginkan untuk tujuan terapeutis (keperluan pengobatan).
- efek obat yang tidak diinginkan, yaitu semua efek / khasiat obat yang tidak diinginkan untuk tujuan terapi yang dimaksudkan pada dosis yang dianjurkan, dan
- efek toksik, pengertian efek toksik sangatlah bervariasi, namun pada umumnya dapat dimengerti sebagai suatu efek yang membahayakan atau merugikan organisme itu sendiri.

8. Reseptor

Sejak lama telah diamati bahwa sejumlah racun menimbulkan efek biologik yang khas. Untuk menerangkan kekhasan ini Paul Ehrlich, pada tahun 1897 menduga bahwa netralisasi toksin bakteri oleh antibodi disebabkan oleh adanya "rantai samping" pada antibodi itu. Rantairantai samping itu akan berinteraksi dengan racun tertentu, ia mencatat bahwa agen organ sintetik tertentu memiliki efek antiparasitik yang karakteristik sementara agen yang lain tidak, A B O 0,4 0,8 1,2 1,6 2 0 120 240 360 480 600 720 Waktu (min) Konsentrasi ($\mu\text{g/ml}$) 25 meskipun struktur kimia mereka hanya sedikit berbeda.

Konsep reseptor sebagai tempat kerja zat kimia, pertama kali dikemukakan oleh John N. Langley (1905). Dia mengamati bahwa efek nikotin dan kurare pada otot rangka tidak berubah setelah saraf yang mensarafi otot

tersebut mengalami degenerasi, ini menunjukkan tidak terlibatnya ujung saraf seperti yang diyakini sebelumnya. Kurare tidak mencegah kontraksi otot akibat rangsangan listrik, tetapi benar-benar memblokir kontraksi yang disebabkan oleh nikotin. Melalui penelitian ini ia menyimpulkan bahwa "racun" tidak berpengaruh pada protein kontraktil dalam otot, melainkan pada zat-zat lain di otot yang dapat disebut "zat-reseptor". Dari awal yang sederhana ini kini reseptor menjadi fokus utama penyelidikan efek obat dan mekanisme kerjanya (farmakodinamik). Pada tahun 1970-an penelitian tentang reseptor semakin banyak dilakukan pada tingkat molekuler untuk memperoleh pengertian yang lebih mendalam mengenai interaksi biokimiawi antara zat-zat endogen dan sel-sel tubuh. Ternyata reaksi demikian hampir selalu berlangsung di tempat spesifik, yaitu reseptor atau enzim. Penelitian juga telah mengungkapkan, bahwa semua proses fisiologi dalam tubuh diregulasi oleh zat-zat pengatur kimiawi "regulator endogen", yang masing-masing mempunyai titik kerja spesifik di satu atau lebih organ. Meskipun terdapat ratusan regulator terutama hormon dan neurotransmitter (noradrenalin, serotonin, dopamin, dan lain-lain), namun setiap zat diketahui dengan tepat di mana letak sel dan organ tujuannya. Hal ini dapat dijelaskan, oleh terdapatnya sejenis informasi biologi di setiap zat dalam bentuk konfigurasi khusus, struktur ruang, dan sifat-sifat kimiawinya, yang dengan eksak mencocoki sel-sel reseptor di organ-tujuan. Sistem ini dapat disamakan dengan prinsip kunci-anak kunci. Selain neuro(hormon). tersebut, terdapat juga reseptor untuk zat-zat lain, seperti endorfin (morfin endogen). Reseptor obat dapat didefinisikan sebagai suatu makromolekul (biopolimer) jaringan sel hidup, mengandung gugus fungsional atau atom-atom terorganisasi, reaktif secara kimia dan bersifat khas, dan dapat berinteraksi secara

terpulihkan (reversibel) dengan molekul obat yang mengandung gugus fungsional khas, menghasilkan respons biologis tertentu.

9. Latihan (Identifikasi dan Analisis)

Pada suatu sungai yang berada dekat pabrik, suatu saat tiba-tiba ditemukan sejumlah ikan mati dan mengambang di perairan.

10. Identifikasilah faktor yang menyebabkan.

11. Analisislah mengapa ikan-ikan di perairan menjadi mati seketika.

10. Rangkuman

Suatu bahan dalam keadaan tunggal dapat dikatakan tidak beracun, tetapi akan berubah menjadi racun atau tingkat keracunannya menjadi meningkat karena dipengaruhi beberapa faktor. Beberapa faktor yang mempengaruhi antara lain faktor fisik bahan kimia, faktor kimiawi bahan kimia, faktor dosis/konsentrasi, faktor individu, karakteristik pemaparan, interaksi antara faktor fisik lingkungan dengan sifat kimiawi bahan maupun interaksi dari bahan kimia. Bahan-bahan tersebut akan memberikan efek toksik yang berbeda-beda seperti alergi, toleransi, efek lokal dan sistemik, efek reversibel dan irreversibel maupun efek langsung dan tertunda

C. Evaluasi

1. Identifikasilah faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat keracunan dari bahan toksik.
2. Jelaskan 5 faktor yang mempengaruhi tingkat keracunan.
3. Identifikasilah efek toksik dari bahan toksik
4. Jelaskan 5 macam efek toksik
5. Jelaskan mekanisme kerja efek toksik
6. Jelaskan mekanisme kerja reseptor

tersebut mengalami degenerasi, ini menunjukkan tidak terlibatnya ujung saraf seperti yang diyakini sebelumnya. Kurare tidak mencegah kontraksi otot akibat rangsangan listrik, tetapi benar-benar memblokir kontraksi yang disebabkan oleh nikotin. Melalui penelitian ini ia menyimpulkan bahwa "racun" tidak berpengaruh pada protein kontraktil dalam otot, melainkan pada zat-zat lain di otot yang dapat disebut "zat-reseptor". Dari awal yang sederhana ini kini reseptor menjadi fokus utama penyelidikan efek obat dan mekanisme kerjanya (farmakodinamik). Pada tahun 1970-an penelitian tentang reseptor semakin banyak dilakukan pada tingkat molekuler untuk memperoleh pengertian yang lebih mendalam mengenai interaksi biokimiawi antara zat-zat endogen dan sel-sel tubuh. Ternyata reaksi demikian hampir selalu berlangsung di tempat spesifik, yaitu reseptor atau enzim. Penelitian juga telah mengungkapkan, bahwa semua proses fisiologi dalam tubuh diregulasi oleh zat-zat pengatur kimiawi "regulator endogen", yang masing-masing mempunyai titik kerja spesifik di satu atau lebih organ. Meskipun terdapat ratusan regulator terutama hormon dan neurotransmiter (noradrenalin, serotonin, dopamin, dan lain-lain), namun setiap zat diketahui dengan tepat di mana letak sel dan organ tujuannya. Hal ini dapat dijelaskan, oleh terdapatnya sejenis informasi biologi di setiap zat dalam bentuk konfigurasi khusus, struktur ruang, dan sifat-sifat kimiawinya, yang dengan eksak mencocoki sel-sel reseptor di organ-tujuan. Sistem ini dapat disamakan dengan prinsip kunci-anak kunci. Selain neuro(hormon). tersebut, terdapat juga reseptor untuk zat-zat lain, seperti endorfin (morfin endogen). Reseptor obat dapat didefinisikan sebagai suatu makromolekul (biopolimer) jaringan sel hidup, mengandung gugus fungsional atau atom-atom terorganisasi, reaktif secara kimia dan bersifat khas, dan dapat berinteraksi secara

terpulihkan (reversibel) dengan molekul obat yang mengandung gugus fungsional khas, menghasilkan respons biologis tertentu.

9. Latihan (Identifikasi dan Analisis)

Pada suatu sungai yang berada dekat pabrik, suatu saat tiba-tiba ditemukan sejumlah ikan mati dan mengambang di perairan.

10. Identifikasilah faktor yang menyebabkan.

11. Analisislah mengapa ikan-ikan di perairan menjadi mati seketika.

10. Rangkuman

Suatu bahan dalam keadaan tunggal dapat dikatakan tidak beracun, tetapi akan berubah menjadi racun atau tingkat keracunannya menjadi meningkat karena dipengaruhi beberapa faktor. Beberapa faktor yang mempengaruhi antara lain faktor fisik bahan kimia, faktor kimiawi bahan kimia, faktor dosis/konsentrasi, faktor individu, karakteristik pemaparan, interaksi antara faktor fisik lingkungan dengan sifat kimiawi bahan maupun interaksi dari bahan kimia. Bahan-bahan tersebut akan memberikan efek toksik yang berbeda-beda seperti alergi, toleransi, efek lokal dan sistemik, efek reversibel dan irreversibel maupun efek langsung dan tertunda

C. Evaluasi

1. Identifikasilah faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat keracunan dari bahan toksik.
2. Jelaskan 5 faktor yang mempengaruhi tingkat keracunan.
3. Identifikasilah efek toksik dari bahan toksik
4. Jelaskan 5 macam efek toksik
5. Jelaskan mekanisme kerja efek toksik
6. Jelaskan mekanisme kerja reseptor

D. Daftar Bacaan

- Hayat, Fadhil.2010. Efek Toksik. (online), <https://fadhilhayat.wordpress.com/2010/10/14/efek-toksik/>
- Hernawati. Tanpa Tahun. Gambaran Efek Toksik Etanol pada Sel Hati. (online), http://file.upi.edu/Direktori/FPMIPA/JUR._PEND._BIOLOGI/19700331199702HERNAWATI/FILE_15.pdf
- Kusnoputranto, H. 2005. ToksikologiLingkungan. Jakarta : Fakultas Kesehatan Masyarakat dan Pusat Penelitian Sumberdaya Manusia dan Lingkungan Universitas Indonesia.
- Lu, Frank C. 2006. Basic Toxicology. Washington : Hemisphere Publishing Corporation.
- Mukono, H. J. 2006. Toksikologi Lingkungan. Surabaya : Airlangga University Press.
- Siwiendrayanti, Arum, Eram Tunggal Pawenang dan Evi Widowati.2016. Toksikologi. Semarang : Cipta Prima Nusantara.
- Wirasuta, IMAG dan Niruri, R. 2006. Toksikologi Umum.(online),<https://ondoc.logand.com/d/6437/pdf>

BAB VI

TAHAPAN-TAHAPAN DALAM PROSEDUR PENGUJIAN DALAM UJI TOKSISITAS

A. Pendahuluan

1. Deskripsi

Toksistas adalah kemampuan suatu bahan atau senyawa kimia untuk menimbulkan kerusakan pada saat mengenai bagian dalam atau permukaan tubuh yang peka. Uji toksistas digunakan untuk mempelajari pengaruh suatu bahan kimia toksik atau bahan pencemar terhadap organisme tertentu. Pelaksanaan uji toksistas diawali dengan tahap aklimasi (*acclimation*), kemudian dilanjutkan pada uji pendahuluan (*exploratory test*), uji orientasian uji eksperimen.

2. Tujuan Pembelajaran

- Mahasiswa mampu mengidentifikasi tahapan dalam prosedur pengujian
- Mahasiswa mampu membandingkan ciri-ciri setiap tahapan dalam prosedur pengujian
- Mahasiswa mampu merencanakan persiapan penelitian dengan uji toksistas tahapan aklimatisasi
- Mahasiswa mampu terampil melakukan tahapan aklimatisasi prosedur pengujian
- Mahasiswa mampu mengkomunikasikan hasil secara tertulis dan lisan

II. Materi

1. Aklimatisasi

Aklimatisasi adalah Proses penyesuaian diri dari individu terhadap perubahan kondisi lingkungan, proses penyesuaian disini lebih ditekankan pada perubahan fenotif