

# MODUL PERTEMUAN 14

## BIOMONITORING

### 1. BIOMONITORING

#### A. Pengantar

Biomonitoring dapat diartikan sebagai suatu teknik penggunaan respon makhluk hidup (organisme) secara sistematis untuk mengevaluasi perubahan-perubahan kualitas lingkungan (Náray & Kudász, 2016). Biomonitoring menggunakan pengetahuan tentang ekosistem dengan berbagai dinamikanya untuk memantau berbagai langkah pengendalian lingkungan. Teknik ini diharapkan mampu menggambarkan tentang cocok atau tidaknya kondisi lingkungan dengan organisme tertentu. Keberadaan organisme tersebut mengindikasikan kondisi ekosistem dan kualitas lingkungan secara khusus atau spesifik (Komarawidjaja & Titiresmi, 2006).

Penggunaan indikator fisik dan kimia dalam monitoring terhadap toksikan di lingkungan bersifat amat dinamis (cenderung berubah) terhadap waktu dan tempat. Berbeda dengan organisme atau “sistem biologi” yang bisa mengintegrasikan hampir semua variabel lingkungan pada kurun waktu relatif lama dengan teknik pengukuran yang relatif lebih mudah, serta tentunya relatif murah. Biomonitoring dapat digunakan untuk memprediksi bahkan mengetahui dampak yang lebih luas akibat pencemaran udara, air, dan tanah sehingga menjadi landasan dalam pengembangan dan pengelolaan lingkungan.

#### B. Jenis Biomonitoring

Berdasarkan kategori minat komunitas pakar, biomonitoring dapat dikelompokkan sebagai berikut:

##### a. Bioassessments study

Bioassessments study mengkaji kehidupan suatu komunitas, termasuk fungsi dan struktur komunitas. Menurut Cobb dan Frydenborg (2018) bioassessments melibatkan sampling lapangan dari komunitas biologis untuk mengkarakterisasi struktur komunitas (yaitu keragaman dan toleransi terhadap polusi). Hal ini termasuk misalnya mengukur indikator kualitas air seperti oksigen terlarut, mengevaluasi kondisi habitat, dan menentukan kondisi komunitas serangga akuatik. Untuk menentukan kesehatan biologis

pada perairan, maka dapat membandingkan karakteristiknya dengan karakteristik komunitas di seluruh gradien gangguan manusia. Sistem ini kemudian dievaluasi untuk menentukan apakah itu telah terkena dampak negatif oleh aktivitas manusia atau tidak.

Bioassessment berperan dalam restorasi dengan memungkinkan ahli biologi dan regulator (pengambil kebijakan) untuk mengidentifikasi sistem akuatik yang membutuhkan pemulihan, menentukan tujuan restorasi, mengukur atau memperkirakan respons terhadap perubahan, dan mengukur keberhasilan restorasi.

**b. Toxicity bioassays**

Toxicity bioassays adalah melakukan kegiatan pengujian di laboratorium dan menganalisis dampak polutan terhadap bentuk-bentuk kehidupan (tumbuhan dan hewan). Tujuan pengujian toksisitas adalah untuk menentukan apakah suatu senyawa atau sampel air memiliki potensi untuk menjadi racun bagi organisme biologis dan, jika demikian, sejauh mana dampak? Toksisitas dapat dievaluasi di seluruh organisme (*in vivo*) atau menggunakan molekul atau sel (*in vitro*). Keuntungan utama pengujian toksisitas adalah mendeteksi senyawa beracun berdasarkan aktivitas biologis, dan karena itu tidak menuntut pengetahuan yang dalam tentang polutan untuk mengidentifikasi keberadaannya (tidak seperti analisis kimia). Setelah polutan yang terduga memberi pengaruh telah diidentifikasi, pendekatan pemodelan (*in silico*) dapat digunakan untuk memprediksi toksisitasnya berdasarkan sifat fisiko-kimia senyawa dan kemungkinan keberadaannya dan perjalanannya di lingkungan ((enHealth, 2012).

**c. Bioassay Perilaku (Behavioral bioassays)**

Behavioral bioassays mengukur perilaku organisme, secara kualitatif atau kuantitatif, untuk mendeteksi dan menganalisis beberapa stimulus eksternal atau sebagai indikator keadaan fisiologis atau psikologis internal. Artinya, Behavioral bioassays menggunakan perilaku dalam mengukur kemampuan hewan untuk mendeteksi rangsangan lingkungan secara fisiologis atau neurologis. Kepekaan perilaku suatu organisme dapat digunakan sebagai alat pendeteksi suatu zat (X) dalam sampel. Beberapa contoh Behavioral bioassays adalah (1) mendeteksi efek obat, mutasi genetik, dan rangsangan kimia pada perilaku berenang Ciliata seperti *Tetrahymena* dan *Paramecium*; (2) mendeteksi polutan menggunakan perilaku berenang ikan; (3) mendeteksi urea dalam darah menggunakan kinerja labirin tikus, atau (4) mendeteksi

feromon seks dengan mengukur perilaku mengepakkan sayap pada ngengat (Brown & Bolivar, 2018). Berdasarkan hasil penelitian oleh beberapa ahli, dapat diambil ringkasan teknik penggunaan Behavioral bioassays dalam studi feromon serangga.

Behavioral bioassays digunakan untuk mengukur perilaku yang ditimbulkan oleh hormon dan dapat memberikan informasi tentang konsentrasi atau potensi hormon (Wilkinson & Brown, 2015). Behavioral bioassays juga dapat digunakan untuk mendeteksi bahan kimia yang mengganggu endokrin. Dalam ilmu saraf, ada sejumlah jenis Behavioral bioassays untuk aksi obat, lesi otak dan gangguan neurologis (Brown & Bolivar, 2018). Behavioral bioassays bermakna, yaitu (1) mengkaji efek subletal terhadap tumbuhan dan hewan uji, sebagai dasar upaya peringatan dini (early warning system), (2) Menggunakan tindakan perilaku untuk mendeteksi zat (X) dalam sampel. Perilaku dapat tidak terkondisi (spesies khas; etologis) ataupun terkondisi. Ada proses respon spesifik dan stimulus dalam Behavioral bioassays. (3) Menggunakan perilaku organisme, secara kuantitatif atau kualitatif, untuk menentukan kepekaannya terhadap stimulus eksternal, (4) Menggunakan perilaku binatang atau manusia untuk menentukan elemen efektif dari suatu sinyal lingkungan, (5) Menggunakan perilaku sebagai ukuran keadaan fisiologis, saraf, mental internal, dan sebagai ukuran pikiran (Brown & Bolivar, 2013).

#### **d. Bioaccumulation study**

Bioaccumulation study, melakukan kajian dosis kontaminan yang diserap tumbuhan dan hewan uji dan dampaknya dalam rantai makanan (food chain). Bioakumulasi adalah masuknya bahan kimia dan terkonsentrasi dalam organisme melalui berbagai cara, yaitu kontak langsung, respirasi, dan konsumsi (Alexander, 1999). Bioakumulasi menunjukkan akumulasi dan pengayaan kontaminan pada organisme, bersifat relatif terhadap yang ada di lingkungan. Bioakumulasi merupakan hasil bersih dari semua proses pengambilan dan kehilangan, seperti pengambilan pernapasan dan makanan, dan kehilangan oleh difusi pasif, metabolisme, transfer ke keturunan dan pertumbuhan. Dengan demikian, bioakumulasi terdiri dari proses biokonsentrasi dan biomagnifikasi yang lebih spesifik. Biokonsentrasi adalah proses pembagian langsung bahan kimia antara air dan organisme, yang mengarah ke konsentrasi tinggi pada yang terakhir. Selanjutnya, biomagnifikasi mengarah ke

peningkatan konsentrasi kimia dengan posisi trofik yang lebih tinggi pada jaringan makanan (Borga, 2013).

## **2. BIOINDIKATOR**

### **A. Pengantar**

Bioindikator adalah kelompok atau komunitas organisme yang saling berhubungan, yang keberadaannya atau perilakunya sangat erat berhubungan dengan kondisi lingkungan tertentu, sehingga dapat digunakan sebagai satu petunjuk kualitas lingkungan atau uji kuantitatif (Setyono & Sutarto, 2008; Triadmodjo, 2008). Bioindikator menunjukkan sensitivitas dan/atau toleransi terhadap kondisi lingkungan sehingga memungkinkan untuk digunakan sebagai alat penilai kondisi lingkungan (Setiawan, 2008). Bioindikator adalah makhluk yang diamati penampakannya untuk dipakai sebagai petunjuk tentang keadaan kondisi lingkungan dan sumber daya pada habitatnya. Selain itu, bioindikator mampu mencerminkan kualitas suatu lingkungan atau dapat memberikan gambaran situasi ekologi (Juliantara, 2011). Bioindikator memandang bahwa kelompok organisme adalah saling terkait, dimana kehadiran, ketidakhadiran, dan/atau tingkah lakunya sangat erat terkait dengan status lingkungan tertentu sehingga dapat digunakan sebagai indikator (Winarni, 2016).

Bioindikator juga berarti organisme maupun anggota komunitas yang mampu memberikan informasi terkait kondisi lingkungan secara parsial, bagian kecil, atau keseluruhan. Bioindikator harus mampu memberikan gambaran status lingkungan dan/atau kondisi biotik; mengindikasikan dampak perubahan habitat, perubahan komunitas atau pun ekosistem; atau menggambarkan keragaman kelompok takson, atau keragaman dalam suatu daerah yang diamati. Organisme dapat memonitor perubahan (biokimia, fisiologi, atau kebiasaan) yang mungkin mengindikasikan adanya masalah di ekosistemnya. Bioindikator dapat menunjukkan tentang kumpulan efek dari berbagai pencemar yang berbeda di ekosistem (Kripa et al., 2013).

Berdasarkan status makhluk hidupnya, bioindikator dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

- a. Fitoindikator. Penerapan fitoindikator memiliki beberapa manfaat, yaitu (a) menunjukkan adanya paparan polutan, (b) memudahkan identifikasi racun, (c) menjadi indikator early warning (peringatan dini) rusaknya lingkungan, (d)

menjadi early indicator (indikator dini) pemulihan lingkungan, dan (e) melengkapi data analisis mengenai dampak lingkungan (AMDAL).

- b. Zooindikator a. Keystone species dan endangered species b. Bioindication sensu lato (secara luas)

### **3. BIOMARKER**

#### **A. Konsep Biomarker**

Biomarker adalah tanda-tanda terpapar, efek, atau kerentanan yang lebih awal tentang kemungkinan kondisi yang buruk. Biomonitoring ditujukan untuk perlindungan kesehatan, paparan, dan penilaian risiko. Secara sempit (*sensu stricto*), biomarker dapat didefinisikan sebagai respon biologis terhadap bahan kimia atau sekelompok agen kimia tetapi kehadiran agen atau metabolitnya di dalam tubuh tidak ditemukan (dosis internal).

Secara luas (*sensu lato*), biomarker adalah penggunaan semua jenis parameter indikatif dan terdiri dari suborganisme, spesies bioindikator, spesies biomonitor dan spesies sentinel serta indikator ekologi, misalnya keanekaragaman spesies. Biomarker menjadi dasar untuk biomonitoring dan bioindikator modern dalam mencoba membangun hubungan antar tingkat biologis indikatif yang berbeda.

Istilah biomarker telah didefinisikan sebagai variasi yang diinduksi secara xenobiotik dalam komponen seluler atau biokimia atau proses, struktur, atau fungsi yang dapat diukur dalam sistem biologis atau sampel. Biomarker awalnya dikembangkan dalam ilmu kedokteran dan kedokteran hewan dan telah ada penekanan yang meningkat pada penggunaan invertebrata dan terutama biomarker bivalvia untuk menilai polusi laut. Biomarker terjadi pada berbagai tingkat organisasi, dari subselular hingga organisme utuh dan ekosistem. Efek di tingkat molekuler terjadi paling awal, diikuti oleh tanggapan seluler (biokimia), jaringan/organ, dan seluruh tubuh. Tanggapan yang terjadi pada tingkat individu, populasi, dan ekosistem umumnya diterima untuk memiliki relevansi ekologi, cenderung kurang reversibel, dan lebih merugikan daripada efek pada tingkat yang lebih rendah. Bahkan, banyak perhatian diberikan untuk mengidentifikasi dan memahami efek toksik yang dimulai pada tingkat sub-organisme (perubahan molekuler, biokimia atau fisiologis) dan menuju pengembangan biomarker pada tingkat ini untuk dimasukkan dalam program biomonitoring (Hamza-Chaffai, 2014).

## **B. Jenis-jenis Biomarker**

Menurut Ghosh et al (2015) serta Náray dan Kudász (2016), biomarker diklasifikasikan ke dalam tiga kategori tergantung pada penggunaannya atau konteks spesifik di mana uji tersebut digunakan.

### 1) Biomarker paparan (Biomarker of exposure)

Biomarker paparan (Biomarker of exposure) adalah substansi, atau metabolitnya, atau produk dari interaksi yang diukur dalam kompartemen atau cairan tubuh. Misalnya memimpin dalam darah mungkin secara adil mewakili paparan timbal balik baru-baru ini dari individu. Biomarker paparan merupakan produk integrasi antara xenobiotik dan beberapa target molekul atau sel yang diukur dalam kompartemen suatu organisme. Secara umum, biomarker paparan digunakan untuk memprediksi dosis yang diterima oleh individu, yang dapat dikaitkan dengan perubahan yang menghasilkan status penyakit.

### 2) Biomarker efek (Biomarker of effect)

Biomarker efek (Biomarker of effect) adalah perubahan terukur (biokimia, struktural, fungsional, perilaku, dan lain-lain) dalam suatu organisme yang dapat dikaitkan dengan gangguan kesehatan atau penyakit yang mapan atau potensial. Biomarker penyakit awal menunjukkan perubahan biokimia atau fungsional awal, mulai dari adaptasi alami hingga penyakit. Misalnya nilai seng protoporphyrin dalam darah meningkat ketika paparan timbal menyebabkan perubahan dalam produksi hemoglobin. Biomarker genotoxicity (penyimpangan kromosom, mikronuklei, uji Comet) digunakan untuk mengukur paparan bahan kimia genotoksik, biasanya pada tingkat kelompok. Mereka sensitif tetapi tidak spesifik indikator dan umumnya tidak memadai untuk tujuan penilaian risiko pekerjaan. Biomarker efek didefinisikan sebagai biokimia terukur, fisiologis, perilaku, atau perubahan lain dalam suatu organisme yang, menurut besarnya mereka, dapat diakui sebagai gangguan kesehatan atau penyakit yang mapan atau potensial.

### 3) Biomarker kerentanan (Biomarker of susceptibility)

Biomarker kerentanan (Biomarker of susceptibility) adalah penanda kemampuan untuk menanggapi tantangan paparan bahan kimia secara negatif. Gen dapat membuat individu tertentu lebih rentan terhadap racun seperti timbal (kelada

et al, 2001). Contoh untuk biomarker kerentanan adalah jenis kode genetik untuk 6-aminolevulinic acid dehydratase (ALAD), enzim yang terlibat dalam toksisitas timbal yang ada dalam dua bentuk. Faktor-faktor pengaruh-memodifikasi ini dapat melekat atau diperoleh. Biomarker kerentanan biasanya tidak digunakan dalam biomonitoring rutin.

### **C. Paparan dan biotransformasi**

Tiga jalur paparan utama adalah inhalasi (paru-paru), kulit (kulit) dan gastrointestinal (konsumsi). Pemantauan biologis menganggap paparan sistemik secara keseluruhan (dosis internal) dan efek (dosis efektif biologis) terlepas dari sumbernya. Biomarker mungkin juga mencerminkan keadaan seperti perubahan tekanan atmosfer, coeksposur dan laju pernapasan (beban kerja misalnya berat), yang mungkin semua mengarah ke yang lebih tinggi (atau menurun) penyerapan zat. Setelah memasuki tubuh, zat kimia (dan metabolitnya) dapat: didistribusikan di antara kompartemen tubuh; menjalani berbagai modifikasi (biotransformasi); menyebabkan perubahan dan penyakit fungsional; dikeluarkan atau disimpan. Semua jalur ini khusus untuk zat kimia yang bersangkutan dan mungkin spesifik untuk individu. Mereka mungkin dipengaruhi oleh pembaur non-okupasi internal atau eksternal.

Biomarker dapat digunakan secara efektif jika latar belakang toksikologi mereka dipahami:

1. siklus kimia dan/atau metabolitnya di dalam tubuh (toxicokinetics);
2. mekanisme penyakit/efek buruk (toxicodynamics);
3. cara faktor individual mempromosikan bahan kimia untuk menyebabkan penyakit/efek buruk (kerentanan).

Dalam proses biotransformasi zat kimia eksternal diubah dalam tubuh (metabolisme). Aktivitas enzim adalah dasar-dasar kerentanan, termasuk mereka yang terlibat dalam penyerapan dan ekskresi. Varietas individu dalam fitur enzim dapat menghasilkan kecepatan dan jalur yang berbeda dalam metabolisme zat, memodifikasi kurva dosisrespons. Ada banyak pengubah dalam biotransformasi: jenis kelamin, usia, massa tubuh, ko-eksposur (tempat kerja, non-pekerjaan: misalnya diet, termasuk lemak, alkohol, obat-obatan, dan lain-lain). Dibandingkan dengan zat asli, produk degradasinya

mungkin kurang atau lebih berbahaya (yang terakhir = aktivasi). Metabolit ini juga dapat digunakan sebagai biomarker (paparan atau efek).

#### **D. Kriteria Biomarker**

Biomarker yang praktis dan berhasil harus memenuhi sejumlah kriteria, yaitu:

1. Biomarker harus memberikan tanggapan yang cukup sensitif untuk mendeteksi tahap awal dari proses toksisitas dan harus mendahului efek pada organisasi biologis tingkat tinggi.
2. Biomarker harus spesifik untuk kontaminan tertentu atau untuk kelas kontaminan tertentu.
3. Biomarker harus merespon dengan cara bersifat tergantung pada level konsentrasi yang dapat mengubah tingkat kontaminan lingkungan.
4. Identifikasi variabilitas non-toxicological yang diidentifikasi dalam variasi tertentu terkait dengan faktor-faktor biotik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alexander D.E. (1999) Bioaccumulation, bioconcentration, biomagnification. In: Environmental Geology. Encyclopedia of Earth Science. Springer, Dordrecht
- Borgå, K. (2013). Ecotoxicology: Bioaccumulation. In Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. [https:// doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.00765-X](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.00765-X).
- Brown, R. & Bolivar, B. (2013). What are “Behavioural Bioassays” and why are they important in neuroscience? Dalhousie University. Retrieve from <http://www.uonbi.ac.ke/projects/ibro/images/documents/2014/behavioural.pdf>.
- Brown, R. & Bolivar, B. (2018). The importance of behavioural bioassays in neuroscience. Journal of Neuroscience Methods, 300, 68- 76. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2017.05.022>
- Cobb, D. & Frydenborg, R. (2018). Bioassessment of Florida’s aquatic ecosystems. Florida, US: Partners in Florida’s Bioassessment Programs. Division of Water Resource Management Stormwater/ Nonpoint Source Management Section Bioassessment Program.
- Juliantara, K. (2011). Lintah (*Hirudo medicinalis*) sebagai bioindikator pencemaran lingkungan perairan tawar. Retrieved from [http:// www.kompasiana.com/lintah\\_\(Hirudomedicinalis\) sebagai\\_ Bioindikator\\_Pencemaran\\_Lingkungan\\_Perairan\\_Tawar](http://www.kompasiana.com/lintah_(Hirudomedicinalis)sebagai_Bioindikator_Pencemaran_Lingkungan_Perairan_Tawar)
- Komarawidjaja, W. & Titiresmi, T. (2006). Teknik biomonitoringsebagai alternatif “tool” pemantauan kualitas lingkungan perairan. J.Tek.Ling, 2006, 144-147.
- Náray, M. & Kudász, F. (2016). Biological monitoring (biomonitoring). Hungarian Institute of Occupational Health. Retrieved from [https:// oshwiki.eu/wiki/Biological\\_monitoring\\_\(biomonitoring\)](https://oshwiki.eu/wiki/Biological_monitoring_(biomonitoring)).
- Setiawan, D. (2008). Struktur komunitas makrozoobentos sebagai bioindikator kualitas lingkungan perairan Hilir Sungai Musi. (Tesis tidak diterbitkan). Bogor: Sekolah Pascasarjana IPB.
- Setyono, P. & Soetarto, E. S. (2008). Biomonitoring degradasi ekosistem akibat limbah CPO di muara Sungai Mentaya Kalimantan Tengah dengan metode elektromorf isozim esterase. Biodiversitas, 9(3), 232- 236.
- Wilkinson, E. & Brown, R.E. (2015). An introduction to neuroendocrinology (Second edition), Cambridge, England: Cambridge University Press
- Winarni, I. (2016) Peran mikroba sebagai biomonitoring kualitas perairan tawar pada beberapa situ. In: Peran Matematika, Sains, dan Teknologi dalam Mendukung Gaya Hidup Perkotaan (Urban Lifestyle) yang Berkualitas. Tangerang Selatan: Universitas Terbuka