

# ANALISIS KUALITAS LINGKUNGAN



## PENULIS:

Handri Maika Saputra, Mila Sari, Tarzan Purnomo,  
Bambang Suhartawan, Isran Asnawi, Ika Fitriani Juli Palupi,  
Erma Suryani Sahabuddin, Jernita Sinaga, Asrijun Juhanto,  
Elsa Yuniarti, Suriani Nur

# **ANALISIS KUALITAS LINGKUNGAN**

**Handri Maika Saputra  
Mila Sari  
Tarzan Purnomo  
Bambang Suhartawan  
Isran Asnawi  
Ika Fitriani Juli Palupi  
Erma Suryani Sahabuddin  
Jernita Sinaga  
Asrijun Juhanto  
Elsa Yuniarti  
Suriani Nur**



**GET PRESS INDONESIA**

# ANALISIS KUALITAS LINGKUNGAN

## **Penulis :**

Handri Maika Saputra  
Mila Sari  
Tarzan Purnomo  
Bambang Suhartawan  
Isran Asnawi  
Ika Fitriani Juli Palupi  
Erma Suryani Sahabuddin  
Jernita Sinaga  
Asrijun Juhanto  
Elsa Yuniarti  
Suriani Nur

**ISBN : 978-623-198-543-9**

**Editor :** Dr. Neila Sulung, S.Pd., Ns., M.Kes.  
Rantika Maida Sahara, S.Tr.Kes.

**Penyunting :** Aulia Syaharani, S.Tr.Kes.

**Desain Sampul dan Tata Letak :** Atyka Trianisa, S.Pd

**Penerbit :** GET PRESS INDONESIA  
Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

## **Redaksi :**

Jln. Palarik Air Pacah No 26 Kel. Air Pacah  
Kec. Koto Tangah Kota Padang Sumatera Barat  
Website : [www.getpress.co.id](http://www.getpress.co.id)  
Email : adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, 1 Agustus 2023

Hak cipta dilindungi undang-undang  
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan  
dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

## **KATA PENGANTAR**

Segala Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT dalam segala kesempatan. Sholawat beriring salam dan doa kita sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis telah menyelesaikan Buku Analisis Kualitas Lingkungan ini.

Buku ini membahas Latar Belakang Pelaksanaan AKL, Kinetika Bahan Pencemar Di Lingkungan, Biomonitoring dan Perubahan Lingkungan, Instrumen Analisa Kualitas Lingkungan, Parameter Kualitas Air, Metode dan Teknik Pengambilan Sampel Air, Metode dan Teknik Sampilng Analisa Fisik, Kimia dan Biologi Makanan, Kualitas Lingkungan Pengelolaan Makanan dan Minuman, Kualitas Lingkungan Tempat-Tempat Umum, Kualitas Lingkungan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah.

Proses penulisan buku ini berhasil diselesaikan atas kerjasama tim penulis. Demi kualitas yang lebih baik dan kepuasan para pembaca, saran dan masukan yang membangun dari pembaca sangat kami harapkan.

Penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyelesaian buku ini. Terutama pihak yang telah membantu terbitnya buku ini dan telah mempercayakan mendorong, dan menginisiasi terbitnya buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi masyarakat Indonesia.

Padang, 1 Agustus 2023

Penulis

## DAFTAR ISI

|                                                               |            |
|---------------------------------------------------------------|------------|
| <b>KATA PENGANTAR .....</b>                                   | <b>i</b>   |
| <b>DAFTAR ISI .....</b>                                       | <b>ii</b>  |
| <b>DAFTAR GAMBAR .....</b>                                    | <b>vii</b> |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                                     | <b>ix</b>  |
| <b>BAB 1 LATAR BELAKANG PELAKSANAAN ANALISIS</b>              |            |
| <b>KUALITAS LINGKUNGAN .....</b>                              | <b>1</b>   |
| 1.1 Pengertian Analisis Kualitas Lingkungan .....             | 1          |
| 1.2 Tujuan Analisis Kualitas Lingkungan .....                 | 1          |
| 1.3 Prinsip Dasar Analisis Kualitas Lingkungan Kualitas ..... | 2          |
| 1.4 Daya Dukung Lingkungan.....                               | 3          |
| 1.5 Dasar Penentuan Daya Dukung Lingkungan Hidup .....        | 6          |
| DAFTAR PUSTAKA.....                                           | 9          |
| <b>BAB 2 KINETIKA BAHAN PENCEMAR DI LINGKUNGAN. 11</b>        |            |
| 2.1 Kinetika Bahan Pencemar Di Lingkungan.....                | 11         |
| 2.2 Pencemaran Lingkungan.....                                | 12         |
| 2.3 Sumber Pencemar Lingkungan .....                          | 14         |
| 2.4 Perubahan Bentuk Zat Polutan.....                         | 15         |
| 2.5 Mekanisme Pergerakan Bahan Pencemar di Tanah.....         | 17         |
| 2.6 Mekanisme Pergerakan Bahan Pencemar di Air .....          | 19         |
| 2.7 Mekanisme Pergerakan Bahan Pencemar di Udara .....        | 21         |
| DAFTAR PUSTAKA.....                                           | 23         |
| <b>BAB 3 BIOMONITORING DAN PERUBAHAN</b>                      |            |
| <b>LINGKUNGAN .....</b>                                       | <b>25</b>  |
| 3.1 Pendahuluan.....                                          | 25         |
| 3.2 Perubahan Lingkungan .....                                | 27         |
| 3.2.1 Mengapa Lingkungan Berubah ? .....                      | 29         |
| 3.2.2 Dampak Perubahan Lingkungan.....                        | 31         |
| 3.3 Biomonitoring.....                                        | 32         |
| 3.3.1 Pengertian dan Konsep Biomonitoring.....                | 32         |
| 3.3.2 Jenis Biomonitoring .....                               | 35         |
| 3.3.3 Fungsi dan Manfaat Biomonitoring.....                   | 39         |

|                                                     |            |
|-----------------------------------------------------|------------|
| 3.4 Bioindikator .....                              | 42         |
| 3.5 Biomarker .....                                 | 51         |
| 3.6 Metode Biomonitoring .....                      | 63         |
| DAFTAR PUSTAKA.....                                 | 73         |
| <b>BAB 4 INSTRUMEN ANALISIS KUALITAS LINGKUNGAN</b> | <b>80</b>  |
| 4.1 Pengertian Instrumen.....                       | 80         |
| 4.2 Instrumen Analisis Kualitas Air.....            | 80         |
| 4.2.1 Pengambilan sampel air .....                  | 81         |
| 4.2.2 Pengujian sampel air .....                    | 84         |
| 4.3 Instrumen Analisis Kualitas Udara .....         | 95         |
| 4.4 Prosedur Analisis Kualitas Lingkungan .....     | 97         |
| DAFTAR PUSTAKA.....                                 | 99         |
| <b>BAB 5 PARAMETER KUALITAS AIR</b>                 | <b>101</b> |
| 5.1 Pendahuluan.....                                | 101        |
| 5.2 Standar Baku Mutu Kualitas Air .....            | 102        |
| 5.3 Parameter Fisika .....                          | 104        |
| 5.3.1 Suhu, bau, dan rasa.....                      | 104        |
| 5.3.2 Kekeruhan dan Warna .....                     | 105        |
| 5.3.3 Zat Padat Tersuspensi (TSS).....              | 107        |
| 5.4 Parameter Kimia .....                           | 109        |
| 5.4.1 pH .....                                      | 109        |
| 5.4.2 Alkalinitas .....                             | 109        |
| 5.4.3 Kesadahan.....                                | 111        |
| 5.4.4 Zat Padat Terlarut (TDS).....                 | 111        |
| 5.4.5 Oksigen Terlarut.....                         | 112        |
| 5.4.6 Biological Oxygen Demand (BOD).....           | 113        |
| 5.4.7 Chemical Oxygen Demand (COD) .....            | 114        |
| 5.4.8 Logam Berat .....                             | 115        |
| 5.4.9 Senyawa kimia lainnya .....                   | 118        |
| 5.5 Parameter Biologi.....                          | 118        |
| DAFTAR PUSTAKA.....                                 | 121        |
| <b>BAB 6 METODE DAN TEKNIK PENGAMBILAN</b>          |            |
| <b>SAMPEL AIR</b> .....                             | <b>123</b> |

|                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.1 Pendahuluan.....                                                   | 123 |
| 6.2 Pemilihan lokasi dan titik pengambilan sampel .....                | 124 |
| 6.2.1 Air permukaan.....                                               | 124 |
| 6.2.2 Air tanah .....                                                  | 126 |
| 6.2.3 Air pada instalasi pengolahan air .....                          | 127 |
| 6.3 Persiapan pengambilan sampel .....                                 | 127 |
| 6.3.1 Desain dan persiapan pengambilan sampel.....                     | 127 |
| 6.3.2 Alat pengambil sampel air.....                                   | 128 |
| 6.3.3 Botol/wadah sampel air.....                                      | 131 |
| 6.3.4 Kotak/box pengangkut sampel.....                                 | 131 |
| 6.3.5 Reagen pengawet dan untuk mengukur<br>parameter di lapangan..... | 132 |
| 6.3.6 Label untuk sampel air.....                                      | 132 |
| 6.4 Teknik pengambilan sampel air secara umum .....                    | 132 |
| 6.4.1 Grab sampling (pengambilan sampel sesaat).....                   | 132 |
| 6.4.2 Composite sampling (pengambilan sampel<br>campuran).....         | 133 |
| 6.4.3 Integrated sampling (pengambilan sampel<br>terpadu).....         | 133 |
| 6.5 Pengamatan dan pengukuran parameter fisik<br>dilapangan.....       | 134 |
| 6.5.1 Suhu.....                                                        | 134 |
| 6.5.2 Tingkat keasaman (pH) .....                                      | 135 |
| 6.5.3 Turbiditi (kekeruhan).....                                       | 137 |
| 6.5.4 Salinitas .....                                                  | 139 |
| 6.5.5 Konduktivitas listrik.....                                       | 141 |
| 6.5.6 Oksigen terlarut.....                                            | 143 |
| 6.6 Pengawetan sampel .....                                            | 144 |
| 6.7 Pengemasan dan pengangkutan sampel ke<br>laboratorium.....         | 151 |
| 6.7.1 Pengemasan sampel .....                                          | 151 |
| 6.7.2 Pengangkutan sampel .....                                        | 153 |
| 6.7.3 Ketertelusuran dokumen.....                                      | 153 |

|                                                                               |            |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------|
| DAFTAR PUSTAKA.....                                                           | 155        |
| <b>BAB 7 ANALISIS KUALITAS UDARA .....</b>                                    | <b>157</b> |
| 7.1 Pendahuluan.....                                                          | 157        |
| 7.2 Konsep Dasar Udara.....                                                   | 158        |
| 7.2.1 Pengertian Pencemaran Udara .....                                       | 159        |
| 7.2.2 Penyebab Pencemaran Udara.....                                          | 160        |
| 7.2.3 Faktor yang Mempengaruhi Pencemaran Udara .....                         | 173        |
| 7.2.4 Pengendalian Pencemaran Udara .....                                     | 174        |
| 7.2.5 Rancang Bangun Alat Pemantau Kualitas Udara .....                       | 175        |
| DAFTAR PUSTAKA.....                                                           | 180        |
| <b>BAB 8 METODE DAN TEKNIK SAMPLING ANALISIS</b>                              |            |
| <b>FISIK, KIMIA DAN BIOLOGI MAKANAN .....</b>                                 | <b>183</b> |
| 8.1 Pendahuluan.....                                                          | 183        |
| 8.2 Metode Teknik Sampling Makanan.....                                       | 184        |
| 8.2.1 Persiapan Pengambilan Sampel Makanan .....                              | 184        |
| 8.2.2 Pertimbangan Praktis dalam Pengambilan<br>Sampel Makanan. ....          | 185        |
| 8.2.3 Hal yang Perlu Dipertimbangkan dalam<br>Pengambilan Sampel Makanan..... | 186        |
| 8.2.4 Teknik Pengambilan Sampel Makanan. ....                                 | 187        |
| 8.3 Analisis Sampel Makanan dan Minuman.....                                  | 192        |
| 8.3.1 Analisis Pencemar Terhadap Pengolah Makanan<br>dan Minuman .....        | 193        |
| 8.3.2 Analisis Pencemar Terhadap Peralatan Makanan<br>dan Minuman .....       | 194        |
| 8.4 Analisis Fisik, Kimia, Biologi, Sampel Makanan<br>dan Minuman. ....       | 195        |
| 8.4.1 Analisis Fisik Sampel Makanan dan Minuman.....                          | 196        |
| 8.4.2 Analisis Kimia Sampel Makanan dan Minuman. ....                         | 196        |
| 8.4.3 Analisis Biologi (Mikroba) Sampel Makanan<br>dan Minuman. ....          | 198        |
| DAFTAR PUSTAKA.....                                                           | 200        |
| <b>BAB 9 KUALITAS LINGKUNGAN PENGELOLAAN</b>                                  |            |

|                                                                                  |            |
|----------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>MAKANAN DAN MINUMAN .....</b>                                                 | <b>203</b> |
| 9.1 Pentingnya Penyehatan Makanan dan Minuman .....                              | 203        |
| 9.2 Pengetahuan Tentang Keamanan Pangan .....                                    | 205        |
| 9.3 Bahan Bahan Berbahaya dalam Makanan dan<br>Minuman .....                     | 209        |
| 9.4 Pertumbuhan Mikroorganisme .....                                             | 211        |
| 9.5 Penyakit Dapat Ditularkan Melalui Makanan dan<br>Minuman .....               | 213        |
| 9.6 Penjamah Makanan dan Minuman .....                                           | 217        |
| DAFTAR PUSTAKA .....                                                             | 218        |
| <b>BAB 10 KUALITAS LINGKUNGAN DI TEMPAT-TEMPAT<br/>UMUM .....</b>                | <b>221</b> |
| 10.1 Pendahuluan .....                                                           | 221        |
| 10.2 Kualitas Lingkungan .....                                                   | 222        |
| 10.2.1 Kualitas lingkungan bersih .....                                          | 223        |
| 10.2.2 Kualitas lingkungan tercemar .....                                        | 226        |
| 10.3 Fasilitas Publik .....                                                      | 229        |
| 10.3.1 Kebersihan standar fasilitas publik .....                                 | 230        |
| DAFTAR PUSTAKA .....                                                             | 233        |
| <b>BAB 11 KUALITAS LINGKUNGAN TEMPAT<br/>PEMBUANGAN AKHIR (TPA) SAMPAH .....</b> | <b>235</b> |
| 11.1 Pendahuluan .....                                                           | 235        |
| 11.2 Sampah .....                                                                | 240        |
| 11.3 Kualitas lingkungan Tempat Pembuangan Akhir<br>(TPA) Sampah .....           | 244        |
| DAFTAR PUSTAKA .....                                                             | 252        |
| <b>BIODATA PENULIS</b>                                                           |            |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Gambar 4.1.</b> Pengambilan sampel air secara langsung..                        | 80 |
| <b>Gambar 4.2.</b> Alat Pengambilan sampel dengan pemberat.....                    | 81 |
| <b>Gambar 4.3.</b> Alat pengambilan air model <i>Wohlenberg</i> ...                | 81 |
| <b>Gambar 4.4.</b> Alat pengambilan sampel air tipe tegak ( <i>ruttner</i> ) ..... | 82 |
| <b>Gambar 4.5.</b> Alat pengambilan sampel air tipe kedalaman terpadu.....         | 82 |
| <b>Gambar 4.6.</b> Alat pengambilan sampel tipe otomatis                           | 83 |
| <b>Gambar 4.7.</b> Bogorov Troy .....                                              | 84 |
| <b>Gambar 4.8.</b> Plankton Net.....                                               | 84 |
| <b>Gambar 4.9.</b> Haemocytometer .....                                            | 85 |
| <b>Gambar 4.10.</b> Sedgwick Rafter Cell.....                                      | 85 |
| <b>Gambar 4.11.</b> Jala Surber .....                                              | 86 |
| <b>Gambar 4.12.</b> Petersen Grab.....                                             | 86 |
| <b>Gambar 4.13.</b> Eckman Grab .....                                              | 87 |
| <b>Gambar 4.14.</b> Ponar Grab .....                                               | 87 |
| <b>Gambar 4.15.</b> Jaring Apung .....                                             | 88 |
| <b>Gambar 4.16.</b> Current Meter .....                                            | 88 |
| <b>Gambar 4.17.</b> Thermometer .....                                              | 89 |
| <b>Gambar 4.18.</b> Turbiditymeter .....                                           | 89 |
| <b>Gambar 4.19.</b> Salinometer.....                                               | 90 |
| <b>Gambar 4.20.</b> pH Meter.....                                                  | 90 |
| <b>Gambar 4.20.</b> Kerta Indikator Universal.....                                 | 91 |
| <b>Gambar 4.21.</b> DO Meter .....                                                 | 91 |
| <b>Gambar 4.22.</b> CO <sub>2</sub> Meter .....                                    | 92 |
| <b>Gambar 4.23.</b> Spektrofotometer .....                                         | 93 |
| <b>Gambar 4.24.</b> Peralatan Uji Tritrasi.....                                    | 93 |
| <b>Gambar 4.25.</b> Thermometer.....                                               | 94 |
| <b>Gambar 4.26.</b> Higrometer.....                                                | 94 |
| <b>Gambar 4.27.</b> Light Meter .....                                              | 95 |

|                     |                                                                                                                                             |     |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Gambar 4.28.</b> | Sound Level Meter .....                                                                                                                     | 95  |
| <b>Gambar 4.29.</b> | Partikel Counter.....                                                                                                                       | 96  |
| <b>Gambar 6.1.</b>  | Alat pengambil sampel sederhana.<br>(a) gayung bertangkai panjang, (b) botol<br>plastik tertutup, (c) botol sampler<br>dengan pemberat..... | 129 |
| <b>Gambar 6.2.</b>  | Alat pengambil sampel semi otomatis<br>dan otomatis .....                                                                                   | 130 |
| <b>Gambar 6.3.</b>  | Contoh pengemasan sampel dengan<br>kantong sampel ganda. ....                                                                               | 153 |
| <b>Gambar 7.1.</b>  | Konsep Internet of Things (IoT) .....                                                                                                       | 178 |
| <b>Gambar 7.2.</b>  | Arduino Uno .....                                                                                                                           | 178 |
| <b>Gambar 7.3.</b>  | NodeMCU ESP8266.....                                                                                                                        | 179 |
| <b>Gambar 7.4.</b>  | Sensor DHT22 .....                                                                                                                          | 180 |
| <b>Gambar 7.5.</b>  | Sensor MQ-7 .....                                                                                                                           | 181 |
| <b>Gambar 10.1.</b> | Perbandingan ingkungan sehat dan<br>tidak sehat.....                                                                                        | 224 |
| <b>Gambar 10.2.</b> | Pencemaran lingkungan.....                                                                                                                  | 226 |
| <b>Gambar 11.1.</b> | Capaian Kinerja Pengelolaan Sampah.....                                                                                                     | 238 |
| <b>Gambar 11.2.</b> | Komposisi Sampah Berdasarkan Jenis ....                                                                                                     | 241 |
| <b>Gambar 11.3.</b> | Komposisi sampai berdasarkan Sumber                                                                                                         | 241 |
| <b>Gambar 11.4.</b> | Sampah organik .....                                                                                                                        | 242 |
| <b>Gambar 11.5.</b> | Sampah AnOrganik.....                                                                                                                       | 243 |
| <b>Gambar 11.6.</b> | Limbah B3 di rumah.....                                                                                                                     | 243 |
| <b>Gambar 11.7.</b> | Tempat Pembuangan Akhir Sampah .....                                                                                                        | 245 |
| <b>Gambar 11.8.</b> | Metode Open Dumping.....                                                                                                                    | 248 |
| <b>Gambar 11.9.</b> | Sanitary Land Fill.....                                                                                                                     | 249 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabel 1.1.</b> Beberapa istilah dalam analisis kualitas lingkungan (AKL) .....         | 2   |
| <b>Tabel 3.1.</b> Jenis-jenis biomarker .....                                             | 35  |
| <b>Tabel 3.2.</b> Index Biotik Metode BMWP ASPT.....                                      | 63  |
| <b>Tabel 3.3.</b> Klasifikasi kualitas air berdasarkan <i>Famili Biotik Indeks</i> .....  | 66  |
| <b>Tabel 3.4.</b> Klasifikasi Data untuk Metode <i>Lisec Score</i> .....                  | 68  |
| <b>Tabel 3.5.</b> Interpretasi LISEC Score .....                                          | 68  |
| <b>Tabel 3.6.</b> Klasifikasi Data untuk Metode Dutch Score.....                          | 69  |
| <b>Tabel 3.7.</b> Interpretasi Dutch Score.....                                           | 69  |
| <b>Tabel 3.8.</b> Kelebihan Metode Kimia dan Biologi .....                                | 70  |
| <b>Tabel 3.9.</b> Kekurangan Metode Kimia dan Biologi.....                                | 71  |
| <b>Tabel 5.1.</b> Standar baku mutu logam berat untuk kebutuhan air higiene sanitasi..... | 114 |
| <b>Tabel 5.2.</b> Standar baku mutu logam berat untuk air minum .....                     | 115 |
| <b>Tabel 5.3.</b> Standar baku mutu logam berat untuk air limbah pelapisan logam .....    | 115 |
| <b>Tabel 5.4.</b> Daftar bakteri patogen yang ditularkan melalui air .....                | 117 |
| <b>Tabel 6.1.</b> Prosedur sampling untuk pengukuran suhu .....                           | 134 |
| <b>Tabel 6.2.</b> Prosedur sampling untuk pengukuran pH.....                              | 135 |
| <b>Tabel 6.3.</b> Prosedur sampling pengukuran kekeruhan .....                            | 137 |
| <b>Tabel 6.4.</b> Prosedur sampling salinitas.....                                        | 139 |
| <b>Tabel 6.5.</b> Prosedur sampling untuk konduktivitas Listrik.....                      | 141 |
| <b>Tabel 6.6.</b> Prosedur sampling pengukuran kadar oksigen dalam air.....               | 143 |
| <b>Tabel 6.7.</b> Cara pengawetan dan penyimpanan sampel air.....                         | 146 |



# **BAB 1**

## **LATAR BELAKANG PELAKSANAAN ANALISIS KUALITAS LINGKUNGAN**

*Oleh Handri Maika Saputra*

### **1.1 Pengertian Analisis Kualitas Lingkungan**

Analisis kualitas lingkungan adalah kajian tentang kondisi lingkungan di suatu wilayah yang dapat memberikan daya dukung terbaik bagi kelangsungan hidup manusia (Suryani, 2018). Salah satu ciri kualitas lingkungan adalah suasana yang membuat masyarakat betah atau tinggal di tempat sendiri. Lingkungan hidup yang baik dapat memungkinkan manusia berkembang secara optimal, serasi, serasi, dan seimbang.

Analisis kualitas lingkungan adalah kegiatan untuk menentukan apakah sesuatu yang berkaitan dengan lingkungan dan ekologi dalam keadaan baik dan bagaimana dampaknya terhadap lingkungan, ekologi dan organisme di dalamnya. Topik yang dianalisis dapat bervariasi, misalnya: kualitas air, tanah, udara, bangunan, tanaman, dll.

### **1.2 Tujuan Analisis Kualitas Lingkungan**

Tujuan analisis kualitas lingkungan adalah sebagai berikut:

1. Dapatkan hubungan yang aman antara manusia dan lingkungan
2. Melindungi lingkungan dari segala tindakan yang dapat menimbulkan kerusakan dan pencemaran lingkungan
3. Menginformasikan pembuat kebijakan pusat dan daerah
4. Dapatkan informasi tentang tingkat keparahan masalah dan tindakan pengendalian

5. Tentukan besarnya masalah dan tingkatkan kesadaran terhadap penyakit yang berhubungan dengan lingkungan

### 1.3 Prinsip Dasar Analisis Kualitas Lingkungan Kualitas

Prinsip dasar analisis kualitas lingkungan kualitas adalah suatu lingkungan timbul interaksi baru antara satu kegiatan yang ditetapkan berdasarkan situasi dan kondisi tertentu dengan mempertimbangkan berbagai faktor yang mempengaruhi lingkungan. Kualitas lingkungan adalah mengalami perubahan pada suatu periode tertentu sesuai dengan interaksi komponen lingkungan. Dengan adanya kegiatan baru dalam lingkungan, interaksi tersebut menyebabkan saling pengaruh mempengaruhi dan pada gilirannya akan menimbulkan dampak positif maupun negatif. Masuknya limbah pada lingkungan, misalnya; air buangan pabrik kelapa sawit, masuk pada badan air tentu akan menimbulkan perubahan. Perubahannya air keruh, berwarna, bau dll □ Perlu penetapan kualitas lingkungan adalah salah satu upaya untuk memantau kondisi lingkungan dan perubahannya akibat suatu kegiatan baru. Nilai kualitas berkaitan erat dengan kualitas limbah, kualitas lingkungan di ukur dari berbagai komponen yang ada di lingkungan.

**Tabel 1.1.**Beberapa istilah dalam analisis kualitas lingkungan (AKL):

| Istilah             | Definisi                                                                                                                         |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Parameter           | Kuantitas lingkungan yang diukur                                                                                                 |
| Polutan             | Kuantitas fisik, kimia, atau biologi sebagai ukuran polusi lingkungan Contoh: konsentrasi SO <sub>2</sub> di atmosfer, pH sungai |
| Kualitas lingkungan | Variabel-variabel yang menggambarkan bagian dari lingkungan                                                                      |
| Indikator           | Kuantitas tunggal yang berasal dari satu                                                                                         |

| <b>Istilah</b>             | <b>Definisi</b>                                                                                                                       |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lingkungan                 | variabel polutan dan digunakan untuk menggambarkan beberapa atribut lingkungan                                                        |
| Indek Lingkungan           | Angka tunggal yang berasal dari dua atau lebih indikator                                                                              |
| Profil Kualitas Lingkungan | Jumlah indikator yang ada pada saat yang sama untuk menghasilkan gambaran kondisi lingkungan (tetapi tidak digabungkan)               |
| Data Monitoring Lingkungan | Pengukuran-pengukuran rutin variabelvariabel fisik, kimia dan biologi yang dimaksudkan untuk menggambarkan kondisi-kondisi lingkungan |

## 1.4 Daya Dukung Lingkungan

Daya dukung lingkungan (*carrying capacity*) mengacu pada kapasitas maksimum suatu lingkungan untuk mendukung populasi atau aktivitas tertentu tanpa menyebabkan degradasi atau kerusakan yang tidak dapat diperbaiki. Konsep ini muncul dari pemahaman bahwa lingkungan memiliki keterbatasan alami dan bahwa penggunaan yang berlebihan atau tidak berkelanjutan dapat mengancam keberlanjutan dan kualitas lingkungan.

Daya dukung lingkungan melibatkan berbagai faktor dan parameter yang harus dipertimbangkan, tergantung pada jenis lingkungan dan kegiatan yang sedang dievaluasi. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi daya dukung lingkungan meliputi:

1. Sumber daya alam: Lingkungan harus memiliki sumber daya alam yang cukup untuk memenuhi kebutuhan populasi atau aktivitas yang ada. Ini meliputi air bersih, lahan pertanian yang subur, hutan yang berkelanjutan, sumber daya mineral, dan sebagainya.

2. Kapasitas penyerapan: Lingkungan harus mampu menyerap dan menghilangkan limbah dan polutan yang dihasilkan oleh populasi atau aktivitas. Misalnya, kemampuan air untuk mengatasi polutan dan kemampuan tanah untuk memecah limbah organik.
3. Ketersediaan pangan: Daya dukung lingkungan juga mencakup kemampuan untuk memproduksi atau menyediakan cukup pangan untuk memenuhi kebutuhan populasi.
4. Ketersediaan energi: Ketersediaan energi yang cukup untuk memenuhi kebutuhan populasi dan aktivitas juga merupakan faktor penting dalam daya dukung lingkungan.
5. Kualitas udara dan air: Lingkungan harus mampu menjaga kualitas udara dan air yang sehat untuk penduduk dan organisme lainnya.
6. Keanekaragaman hayati: Kehadiran dan keberlanjutan keragaman hayati di suatu lingkungan juga menjadi pertimbangan penting dalam menentukan daya dukung lingkungan.

Pemahaman dan pengelolaan yang bijak terhadap daya dukung lingkungan penting dalam menjaga keberlanjutan ekosistem dan memastikan kualitas hidup yang baik bagi manusia dan organisme lainnya. Penilaian daya dukung lingkungan melibatkan analisis dan pemantauan yang cermat untuk memahami batas-batas lingkungan serta mengidentifikasi tindakan yang perlu diambil untuk menjaga atau meningkatkan daya dukung lingkungan.

Menurut Caughley (1979), daya dukung dibagi menjadi dua tipe, yaitu daya dukung ekologi dan daya dukung ekonomi. Daya dukung ekologi menjelaskan ukuran herbivora dan populasi tanaman yang dapat dicapai secara alami apabila keduanya dibiarkan berinteraksi tanpa ada intervensi manusia. Sementara itu, daya dukung ekonomi menjelaskan suatu kesetimbangan yang

ditimbulkan oleh kelestarian permanen populasi herbivora. Daya dukung ekologis merupakan landasan bagi optimalisasi habitat dalam menghasilkan produksi.

Daya dukung tidaklah tetap, melainkan berkembang sesuai dengan waktu, perkembangan serta dapat dipengaruhi oleh teknik-teknik manajemen dan pengontrolan. Keseimbangan lingkungan bersifat dinamis, artinya dapat terjadi penurunan atau kenaikan populasi tiap jenis tumbuhan dan hewan serta berbagai komponen biotik. Perubahan komponen biotik dan abiotik dalam batas-batas tertentu tidak mengganggu keseimbangan lingkungan. Sebagai contoh, jumlah rusa yang berkurang karena diburu manusia tidak berpengaruh terhadap kelangsungan hidup pemangsanya, misalnya harimau. Selama masih ada hewan lain di hutan, seperti kelinci, tikus, dan ayam hutan, maka harimau akan memangsa hewan-hewan tersebut. Jumlah rusa juga dapat berkembang kembali selama perburuan tidak dilakukan terus menerus. Kemampuan hutan mendukung kelangsungan hidup harimau dengan adanya hewan mangsa adalah contoh daya dukung lingkungan. Bertambahnya kembali jumlah rusa setelah berkurangnya perburuan adalah contoh daya lenting lingkungan.

Daya dukung suatu wilayah tidak bersifat statis (*a fixed amount*), tetapi bervariasi sesuai dengan kondisi biogeofisik (ekologis) wilayah termaksud dan juga kebutuhan (*demand*) manusia akan SDA dan JASLING (*goods and services*) dari wilayah tersebut. Daya dukung suatu wilayah dapat menurun akibat kegiatan manusia maupun faktor-faktor alamiah (*natural forces*), contohnya bencana alam. Adanya inovasi teknologi tidak meningkatkan daya dukung wilayah akan tetapi berperan dalam meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya alam.

Daya dukung lingkungan dapat dipertahankan dan bahkan ditingkatkan melalui pengelolaan atau penerapan teknologi. Misalnya, produktivitas tambak udang yang hanya mengandalkan alam tanpa teknologi (tradisional) adalah sekitar 200

kg/ha/tahun. Akan tetapi, dengan penerapan teknologi pengelolaan tanah dan air, manajemen pemberian pakan produktivitas dapat meningkat 6 ton/ha/tahun (Widigdo, 2004).

Menurut Lenzen (2003), kebutuhan hidup manusia dari lingkungan dapat dinyatakan dalam luas area yang dibutuhkan untuk mendukung kehidupan manusia. Luas area untuk mendukung kehidupan manusia ini disebut jejak ekologi (*ecological footprint*). Lenzen juga menjelaskan bahwa untuk mengetahui tingkat keberlanjutan sumber daya alam dan lingkungan, kebutuhan hidup manusia kemudian dibandingkan dengan luas aktual lahan produktif. Perbandingan antara jejak ekologi dengan luas aktual lahan produktif ini kemudian dihitung sebagai perbandingan antara lahan tersedia dan lahan yang dibutuhkan.

Daya lenting lingkungan adalah kemampuan lingkungan untuk pulih kembali pada keadaan seimbang jika mengalami perubahan atau gangguan. Dengan demikian, lingkungan mampu menanggulangi perubahan-perubahan selama perubahan tersebut masih dalam daya dukung dan daya lentingnya.

## **1.5 Dasar Penentuan Daya Dukung Lingkungan Hidup**

Dasar penentuan daya dukung lingkungan hidup didasarkan pada berbagai faktor dan prinsip yang melibatkan pemahaman tentang ekosistem, sumber daya alam, dan keseimbangan lingkungan secara keseluruhan. Berikut adalah beberapa dasar yang digunakan dalam penentuan daya dukung lingkungan hidup:

1. **Kapasitas Ekosistem:** Daya dukung lingkungan hidup ditentukan oleh kapasitas ekosistem untuk menyediakan sumber daya alam yang cukup, mempertahankan keseimbangan ekologis, dan mengatasi dampak manusia. Kapasitas ekosistem melibatkan berbagai faktor seperti

- ketersediaan air, lahan, nutrien, dan keberlanjutan populasi organisme.
2. Ketersediaan Sumber Daya: Penentuan daya dukung lingkungan hidup melibatkan pemahaman tentang ketersediaan sumber daya alam seperti air bersih, udara bersih, tanah subur, keanekaragaman hayati, dan energi. Evaluasi dilakukan untuk memastikan bahwa kebutuhan manusia dan keberlanjutan ekosistem terpenuhi tanpa melebihi batas yang dapat ditangani oleh lingkungan.
  3. Keseimbangan Ekologis: Daya dukung lingkungan hidup juga bergantung pada pemahaman tentang keseimbangan ekologis di suatu lingkungan. Interaksi antara organisme hidup, siklus materi, rantai makanan, dan interaksi lainnya harus dipertimbangkan untuk menjaga stabilitas ekosistem dan fungsinya.
  4. Analisis Kualitas Lingkungan: Analisis kualitas lingkungan, seperti yang telah dibahas sebelumnya, memberikan informasi tentang parameter lingkungan seperti air, udara, tanah, dan biota. Data dan hasil analisis kualitas lingkungan digunakan untuk mengevaluasi tingkat pencemaran, kualitas hidup organisme hidup, dan dampak manusia terhadap lingkungan.
  5. Pendekatan Berbasis Evidens: Penentuan daya dukung lingkungan hidup didasarkan pada pendekatan berbasis evidens yang melibatkan pengumpulan data, pemodelan, analisis, dan pemantauan yang berkelanjutan. Pemahaman ilmiah dan pengetahuan tentang lingkungan diterapkan untuk memperoleh pemahaman yang lebih baik tentang batasan dan potensi lingkungan.
  6. Kebijakan Lingkungan: Prinsip dan kebijakan lingkungan yang ditetapkan oleh pemerintah dan badan lingkungan juga menjadi dasar penentuan daya dukung lingkungan hidup. Kebijakan ini melibatkan pengaturan, perlindungan,

dan pengelolaan sumber daya alam serta mempromosikan penggunaan yang berkelanjutan dan perlindungan lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), & Water Environment Federation (WEF). 2017. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington, DC: APHA.
- Brown, L. R., & Kane, H. (Eds.). 2015. Vital Signs: The Environmental Trends That Are Shaping Our Future. New York: W.W. Norton & Company.
- Cairns, J., & Niederlehner, B. 1996. Indicators of Ecological Stress. New York: Lewis Publishers.
- EPA. 2012. Guidelines for Ecological Risk Assessment. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.
- Hester, R. E., & Harrison, R. M. (Eds.). 2016. Environmental and Human Health: Risk Management in Developing Countries. Cambridge: Royal Society of Chemistry.
- Kovacic, D. A., O'Connor, T. P., & Wolff, G. A. (Eds.). 2008. Concepts in Urban Stormwater Management. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Mackenzie, F. T., & Lerman, A. 2006. Carbon in the Geobiosphere: Earth's Outer Shell. New York: Springer.
- Scholz, M., & Roy, A. H. (Eds.). 2014. Wetlands and Urbanization: Implications for the Future. New York: Springer.
- USEPA. 2017. Environmental Quality Indicators: A Practical Guide. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.
- World Health Organization (WHO). 2011. Guidelines for Drinking-Water Quality. Geneva: WHO Press.
- Holling, C. S. 1973. Resilience and Stability of Ecological Systems. Annual Review of Ecology and Systematics, 4, 1-23.

- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., & Behrens, W. W. 1972. *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. New York: Universe Books.
- Odum, H. T. 1996. *Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making*. New York: Wiley.
- Rees, W. E. 1992. Ecological Footprints and Appropriated Carrying Capacity: What Urban Economics Leaves Out. *Environment and Urbanization*, 4(2), 121-130.
- Rees, W. E., & Wackernagel, M. 1996. Urban Ecological Footprints: Why Cities Cannot Be Sustainable - and Why They Are a Key to Sustainability. *Environmental Impact Assessment Review*, 16(4-6), 223-248.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., ... Foley, J. A. 2009. Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecology and Society*, 14(2), 32.
- Turner, B. L., Kasperson, R. E., Matson, P. A., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensen, L., ... Schiller, A. 2003. A Framework for Vulnerability Analysis in Sustainability Science. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(14), 8074-8079.
- Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J., & Melillo, J. M. 1997. Human Domination of Earth's Ecosystems. *Science*, 277(5325), 494-499.

# **BAB 2**

## **KINETIKA BAHAN PENCEMAR DI LINGKUNGAN**

*Oleh Mila Sari*

### **2.1 Kinetika Bahan Pencemar Di Lingkungan**

Kinetika bahan pencemar di lingkungan merujuk pada kecepatan perubahan konsentrasi atau distribusi bahan pencemar dalam sistem lingkungan. Ini melibatkan pemahaman tentang bagaimana bahan pencemar berinteraksi dengan lingkungan, bergerak melalui medium seperti udara, air, atau tanah, dan mengalami proses degradasi atau transformasi.

Beberapa faktor yang mempengaruhi kinetika bahan pencemar di lingkungan meliputi:

- a. Sifat kimia bahan pencemar: Sifat-sifat kimia seperti kelarutan, kestabilan, reaktivitas, dan tingkat volatilitas akan mempengaruhi sejauh mana bahan pencemar tersebut akan bergerak melalui lingkungan dan mengalami transformasi kimia atau fisika.
- b. Sifat fisik medium lingkungan: Ketersediaan dan sifat fisik medium lingkungan, seperti aliran air, porositas tanah, kecepatan angin, dan kondisi suhu, akan mempengaruhi pergerakan bahan pencemar. Bahan pencemar mungkin terlarut dalam air, terikat dalam tanah, terbawa oleh aliran udara, atau mengendap di permukaan berdasarkan sifat fisik lingkungan.
- c. Proses transportasi: Bahan pencemar dapat mengalami transportasi melalui medium seperti adveksi (pergerakan massa), dispersi (penyebaran), difusi (gerakan molekuler),

atau sedimentasi (pengendapan). Mekanisme transportasi ini akan memengaruhi seberapa cepat bahan pencemar menyebar dan mencapai lokasi tujuan.

- d. Proses degradasi dan transformasi: Bahan pencemar dapat mengalami proses degradasi atau transformasi dalam lingkungan. Ini bisa melibatkan reaksi kimia, pemecahan biologis, atau fotokimia. Tingkat degradasi dan transformasi ini akan mempengaruhi waktu yang dibutuhkan untuk mengurangi konsentrasi bahan pencemar dalam lingkungan.

## **2.2 Pencemaran Lingkungan**

Pencemaran lingkungan merujuk pada keberadaan atau masuknya zat-zat atau energi yang dapat merusak atau mengganggu keseimbangan ekosistem dan mengancam kesehatan manusia. Pencemaran lingkungan dapat terjadi dalam berbagai bentuk dan sumber, termasuk:

1. Pencemaran udara: Pencemaran udara terjadi ketika zat-zat berbahaya, seperti gas buang industri, asap kendaraan bermotor, debu, polutan organik terlarut, atau bahan kimia berbahaya, dilepaskan ke atmosfer. Ini dapat menyebabkan kualitas udara yang buruk dan berdampak negatif pada kesehatan manusia, termasuk penyakit pernapasan, iritasi mata, dan masalah kesehatan lainnya. Contoh polutan udara yang umum termasuk karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ), sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ), dan partikulat ( $\text{PM}_{10}$  dan  $\text{PM}_{2.5}$ ).
2. Pencemaran air: Pencemaran air terjadi ketika bahan-bahan berbahaya, seperti limbah industri, limbah pertanian, atau limbah domestik, mencemari sumber air, seperti sungai, danau, dan laut. Zat-zat berbahaya seperti logam berat, pestisida, bahan kimia organik, dan nutrisi berlebihan dapat merusak ekosistem air dan menyebabkan pencemaran air. Pencemaran air dapat mengancam kehidupan akuatik,

- mengurangi kualitas air minum, dan menyebabkan penyebaran penyakit.
3. Pencemaran tanah: Pencemaran tanah terjadi ketika bahan beracun, seperti limbah industri atau limbah pertanian, masuk ke dalam tanah dan mencemarnya. Hal ini dapat terjadi melalui tumpahan bahan kimia, limbah yang tidak diolah dengan benar, atau melalui penggunaan pestisida dan pupuk yang berlebihan. Pencemaran tanah dapat menghambat pertumbuhan tanaman, merusak keanekaragaman hayati tanah, dan mempengaruhi kualitas air tanah yang digunakan sebagai sumber air minum.
  4. Pencemaran suara: Pencemaran suara terjadi ketika suara yang berlebihan dan tidak diinginkan, seperti kebisingan lalu lintas, industri, atau kebisingan konstruksi, mengganggu lingkungan dan kehidupan manusia. Pencemaran suara yang kronis dapat menyebabkan stres, gangguan tidur, gangguan pendengaran, dan masalah kesehatan lainnya.
  5. Pencemaran radiasi: Pencemaran radiasi terjadi ketika tingkat radiasi ionisasi berlebihan hadir dalam lingkungan, yang bisa disebabkan oleh kegiatan nuklir, kecelakaan nuklir, limbah radioaktif, atau penggunaan bahan radioaktif dalam industri atau pengobatan. Paparan radiasi yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan genetik, kanker, dan masalah kesehatan serius lainnya.

Pencemaran lingkungan memiliki dampak negatif yang luas, termasuk kerusakan ekosistem, hilangnya keanekaragaman hayati, gangguan keseimbangan ekosistem, perubahan iklim, dan risiko kesehatan manusia. Untuk mengurangi pencemaran lingkungan, langkah-langkah pengendalian polusi, penggunaan sumber energi terbarukan, pengelolaan limbah yang efisien, penggunaan teknologi bersih, dan kesadaran masyarakat terhadap pentingnya menjaga lingkungan bersih sangat penting. Pemerintah,

perusahaan, dan individu perlu bekerja sama untuk mengurangi pencemaran lingkungan dan menjaga keberlanjutan lingkungan bagi generasi mendatang.

## **2.3 Sumber Pencemar Lingkungan**

Beberapa sumber utama pencemaran lingkungan meliputi:

1. **Industri:** Kegiatan industri seperti pabrik, pembangkit listrik, dan fasilitas pengolahan limbah dapat menghasilkan limbah dan emisi berbahaya. Limbah industri yang tidak diolah dengan benar dapat mencemari udara, air, dan tanah, serta mencemari lingkungan sekitarnya dengan bahan kimia berbahaya.
2. **Transportasi:** Kendaraan bermotor, termasuk mobil, truk, dan pesawat terbang, menghasilkan emisi gas buang yang mencemari udara. Gas buang tersebut mengandung polutan seperti karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>), partikulat, dan gas rumah kaca seperti karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Peningkatan jumlah kendaraan bermotor juga dapat menyebabkan kebisingan dan gangguan lalu lintas.
3. **Pertanian:** Praktik pertanian intensif menggunakan pestisida, pupuk kimia, dan limbah pertanian dapat mencemari air dan tanah. Penggunaan pestisida yang berlebihan dapat mencemari lingkungan dan berdampak negatif pada keanekaragaman hayati dan kualitas air tanah.
4. **Limbah domestik:** Pembuangan limbah domestik yang tidak diolah dengan benar dapat mencemari sumber air dan mengganggu kualitas air minum. Pembuangan sampah padat yang tidak terkelola dengan baik juga dapat mencemari tanah dan menyebabkan masalah kesehatan masyarakat.
5. **Pembangunan dan konstruksi:** Pembangunan infrastruktur dan konstruksi dapat menghasilkan limbah bangunan, debu, dan kebisingan yang dapat mencemari lingkungan sekitar. Penggundulan hutan untuk pembangunan juga dapat

- menyebabkan kerusakan habitat dan hilangnya keanekaragaman hayati.
6. Energi fosil: Pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam menghasilkan emisi gas rumah kaca dan polutan udara, yang berkontribusi pada perubahan iklim dan pencemaran udara.
  7. Limbah radioaktif: Limbah radioaktif yang dihasilkan dari kegiatan nuklir, seperti pembangkit listrik tenaga nuklir dan penggunaan bahan radioaktif dalam industri dan pengobatan, dapat mencemari lingkungan dan menyebabkan risiko radiasi.
  8. Pemusnahan limbah: Pemusnahan limbah yang tidak tepat, termasuk pembakaran limbah terbuka, penimbunan limbah tanpa tindakan pengamanan yang memadai, atau pembuangan limbah kimia berbahaya yang tidak diatur dengan baik, dapat mencemari tanah, air, dan udara.

## **2.4 Perubahan Bentuk Zat Polutan**

Zat polutan dapat mengalami perubahan bentuk atau transformasi dalam lingkungan melalui beberapa proses, termasuk:

1. Reaksi Kimia: Polutan dapat mengalami reaksi kimia dengan zat lain yang ada dalam lingkungan. Reaksi kimia ini dapat menghasilkan produk baru yang mungkin lebih atau kurang berbahaya daripada polutan aslinya. Contohnya, polutan seperti nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ) dan sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) dalam udara dapat bereaksi dengan oksigen dan air untuk membentuk asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) dan asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), yang kemudian dapat menyebabkan hujan asam.
2. Fotodegradasi: Beberapa polutan dapat mengalami degradasi atau perubahan bentuk melalui reaksi kimia yang dipicu oleh paparan sinar matahari atau radiasi ultraviolet (UV). Proses ini dikenal sebagai fotodegradasi. Contoh fotodegradasi adalah transformasi senyawa organik seperti polutan udara seperti

hidrokarbon aromatik polisiklik (PAH) menjadi bentuk yang lebih mudah terdegradasi dan kurang berbahaya.

3. Biodegradasi: Banyak polutan dapat diuraikan oleh mikroorganisme dan organisme lain dalam lingkungan melalui proses biodegradasi. Mikroorganisme seperti bakteri dan fungi memiliki kemampuan untuk menguraikan senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana dan tidak berbahaya. Proses biodegradasi ini penting dalam penguraian limbah organik dan mengurangi pencemaran lingkungan.
4. Adsorpsi: Polutan dapat terikat atau diadsorpsi pada permukaan material padat seperti tanah, lumpur, atau partikel. Proses adsorpsi ini dapat membantu mengurangi konsentrasi polutan dalam air atau tanah. Misalnya, karbon aktif digunakan dalam filter air untuk mengadsorpsi zat-zat berbahaya seperti bahan kimia organik dan logam berat.
5. Volatilisasi: Beberapa polutan dapat menguap dari media seperti air atau tanah menjadi bentuk uap atau gas. Proses ini dikenal sebagai volatilisasi. Sebagai contoh, senyawa organik tertentu seperti pelarut atau bahan kimia yang mudah menguap dapat menguap dari air permukaan ke atmosfer.
6. Sedimentasi: Polutan padat atau partikulat dapat mengendap dan terpisah dari medium seperti air atau udara melalui proses sedimentasi. Partikel-partikel ini akan turun dan mengendap ke dasar perairan atau permukaan tanah.

Perubahan bentuk polutan ini dapat mempengaruhi tingkat persistensi, mobilitas, dan potensi bahaya zat tersebut terhadap lingkungan dan organisme hidup. Penting untuk memahami perubahan bentuk polutan dalam upaya pengelolaan lingkungan dan mitigasi pencemaran.

## **2.5 Mekanisme Pergerakan Bahan Pencemar di Tanah**

Pergerakan bahan pencemar di tanah melibatkan beberapa mekanisme yang berperan dalam penyebaran dan distribusi polutan dalam lingkungan. Salah satu mekanisme utama adalah infiltrasi, di mana air atau larutan yang mengandung bahan pencemar meresap ke dalam tanah melalui permukaan. Selain itu, perkolasi juga memainkan peran penting dalam pergerakan bahan pencemar, di mana air yang terinfiltrasi mengalir melalui lapisan tanah yang lebih dalam. Aliran permukaan juga dapat membawa bahan pencemar ketika air hujan atau air irigasi mengalir di atas permukaan tanah. Proses difusi memungkinkan bahan pencemar terlarut untuk bergerak ke zona konsentrasi yang lebih rendah, sedangkan adsorpsi terjadi ketika bahan pencemar terikat pada partikel padat dalam tanah. Selain itu, erosi juga dapat memindahkan partikel-partikel tanah dan bahan pencemar yang terikat pada mereka. Kesemua mekanisme ini berkontribusi pada pergerakan bahan pencemar dalam tanah, yang harus dipahami dengan baik untuk melaksanakan pengelolaan lingkungan yang efektif dan melindungi kualitas tanah serta sumber daya alam yang terkait.

Pergerakan bahan pencemar di tanah dapat terjadi melalui beberapa mekanisme. Berikut adalah beberapa mekanisme pergerakan yang umum terjadi:

1. **Infiltrasi:** Infiltrasi adalah proses pergerakan air atau larutan yang terkandung bahan pencemar ke dalam tanah melalui permukaan tanah. Faktor-faktor yang mempengaruhi infiltrasi termasuk jenis tanah, kemiringan lahan, tekstur tanah, dan kondisi kelembaban. Bahan pencemar yang terlarut dalam air dapat mengikuti jalur infiltrasi dan meresap ke dalam zona perakaran atau zona jenuh air tanah.

2. Perkolasi: Perkolasi adalah pergerakan air atau larutan yang terkandung bahan pencemar melalui lapisan tanah yang lebih dalam, biasanya di bawah zona perakaran tanaman. Ini terjadi ketika air hujan atau air irigasi melalui proses infiltrasi mencapai lapisan air tanah yang lebih dalam. Bahan pencemar yang terlarut dalam air dapat diangkut bersama air melalui perkolasi.
3. Aliran permukaan: Aliran permukaan terjadi ketika air hujan atau air irigasi mengalir di atas permukaan tanah. Bahan pencemar yang terikat pada partikel-partikel tanah atau terlarut dalam air dapat terbawa oleh aliran permukaan dan bergerak menuju sungai, danau, atau sistem drainase lainnya.
4. Gravitasi: Gerakan bahan pencemar yang terlarut dalam air tanah juga dapat terjadi akibat gaya gravitasi. Jika terdapat perbedaan potensial hidrolik, air dan bahan pencemar yang terlarut di dalamnya akan mengalir ke arah yang lebih rendah.
5. Difusi: Difusi adalah pergerakan bahan pencemar dari area dengan konsentrasi tinggi ke area dengan konsentrasi rendah. Bahan pencemar yang terlarut dalam air tanah dapat berdifusi ke dalam pori-pori tanah yang lebih tinggi, menuju ke zona yang lebih rendah konsentrasinya.
6. Erosi: Erosi adalah pergerakan partikel tanah yang terjadi akibat aliran air atau angin yang kuat. Bahan pencemar yang terikat pada partikel-partikel tanah dapat terbawa oleh erosi dan diangkut ke tempat lain.

Pergerakan bahan pencemar dalam tanah dipengaruhi oleh karakteristik tanah, seperti tekstur, struktur, porositas, dan kandungan air. Faktor-faktor lingkungan, seperti curah hujan, kemiringan lahan, dan jenis vegetasi, juga dapat mempengaruhi mekanisme pergerakan bahan pencemar di tanah. Penting untuk

memahami mekanisme pergerakan ini dalam pengelolaan dan pemantauan pencemaran tanah untuk mencegah penyebaran bahan pencemar ke daerah yang lebih luas.

## **2.6 Mekanisme Pergerakan Bahan Pencemar di Air**

Pergerakan bahan pencemar di air melibatkan beberapa mekanisme yang berperan dalam penyebaran dan distribusi polutan dalam lingkungan perairan. Salah satu mekanisme utama adalah aliran air, di mana bahan pencemar dapat terbawa oleh aliran permukaan seperti sungai, danau, atau saluran drainase. Selain itu, transport difusi juga berperan penting, di mana bahan pencemar terlarut dalam air bergerak dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah. Adsorpsi juga dapat mempengaruhi pergerakan bahan pencemar, di mana bahan pencemar terikat pada partikel padat atau sedimen dalam air. Proses penghancuran biologis oleh mikroorganisme juga berkontribusi pada pergerakan bahan pencemar, di mana mikroorganisme dapat menguraikan atau memetabolisme polutan menjadi bentuk yang kurang berbahaya. Selain itu, arus laut juga dapat mengangkut bahan pencemar di perairan laut. Pemahaman tentang mekanisme ini penting untuk mengelola dan memantau pencemaran air secara efektif dan menjaga kualitas perairan serta kehidupan akuatik yang terkait.

Pergerakan bahan pencemar di air dapat terjadi melalui beberapa mekanisme. Berikut adalah beberapa mekanisme pergerakan yang umum terjadi:

1. **Aliran Air:** Bahan pencemar dapat terbawa oleh aliran air permukaan, seperti sungai, danau, atau saluran drainase. Aliran air membawa bahan pencemar dari sumbernya ke perairan yang lebih besar. Bahan pencemar dapat terikat pada partikel-partikel tersuspensi dalam air atau larut dalam air.

2. Transport Difusi: Bahan pencemar yang terlarut dalam air dapat bergerak melalui air dengan proses difusi. Difusi adalah pergerakan spontan dari area konsentrasi tinggi ke area konsentrasi rendah. Ini berarti bahan pencemar akan bergerak dari konsentrasi tinggi di sekitar sumber pencemaran ke area yang konsentrasinya lebih rendah.
3. Transport Adsorpsi: Bahan pencemar dapat terikat pada partikel-partikel padat yang ada dalam air. Proses ini disebut adsorpsi. Partikel-partikel tersebut dapat berupa tanah, lumpur, atau sedimen di dasar perairan. Bahan pencemar yang terikat pada partikel-partikel ini dapat diangkut bersama pergerakan partikel tersebut.
4. Transport Air Laut: Bahan pencemar dapat bergerak melalui air laut melalui proses arus laut. Arus laut, seperti arus pasang-surut atau arus laut yang disebabkan oleh perbedaan suhu atau garam, dapat membawa bahan pencemar dari satu lokasi ke lokasi lainnya. Hal ini dapat terjadi di sepanjang pesisir atau melalui arus laut yang lebih besar, seperti arus samudra.
5. Proses Penghancuran Biologis: Beberapa bahan pencemar dapat mengalami penghancuran biologis di dalam air oleh mikroorganisme seperti bakteri dan alga. Proses ini dikenal sebagai biodegradasi. Mikroorganisme tersebut dapat menguraikan atau memetabolisme bahan pencemar menjadi bentuk yang kurang berbahaya atau bahkan menjadi komponen yang lebih sederhana.

Pergerakan bahan pencemar di air dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti kecepatan aliran air, konsentrasi bahan pencemar, karakteristik fisik dan kimia bahan pencemar, serta kondisi lingkungan sekitarnya. Penting untuk memahami mekanisme pergerakan ini dalam pengelolaan dan pemantauan pencemaran air untuk melindungi sumber daya air yang penting bagi kehidupan manusia dan ekosistem.

## **2.7 Mekanisme Pergerakan Bahan Pencemar di Udara**

Pergerakan bahan pencemar di udara melibatkan berbagai mekanisme yang berperan dalam penyebaran dan distribusi polutan di atmosfer. Salah satu mekanisme utama adalah adveksi, di mana angin atau aliran udara membawa bahan pencemar dari sumbernya ke lokasi yang lebih jauh. Difusi juga memainkan peran penting, di mana bahan pencemar bergerak dari area dengan konsentrasi tinggi ke area dengan konsentrasi rendah melalui pergerakan molekuler. Sedimentasi terjadi ketika partikel-partikel polutan mengendap dan turun ke permukaan bumi. Deposisi kering dan basah terjadi ketika partikel-partikel polutan terdeposit pada permukaan tanah atau objek, baik melalui proses langsung atau setelah terjadi pencairan dalam hujan atau embun. Selain itu, mekanisme transportasi jarak jauh memungkinkan bahan pencemar untuk mengalami pergerakan melintasi wilayah yang luas melalui arus udara yang lebih besar. Pemahaman tentang mekanisme ini penting dalam mengelola dan mengendalikan pencemaran udara serta menjaga kualitas udara yang sehat untuk kehidupan manusia dan ekosistem.

Pergerakan bahan pencemar di udara dapat terjadi melalui beberapa mekanisme. Berikut adalah beberapa mekanisme pergerakan yang umum terjadi:

1. **Adveksi:** Adveksi adalah mekanisme pergerakan bahan pencemar di udara yang disebabkan oleh angin atau aliran udara. Bahan pencemar dapat terbawa oleh angin dari sumber pencemaran ke area yang lebih luas. Kecepatan dan arah angin akan mempengaruhi distribusi bahan pencemar di udara.
2. **Difusi:** Difusi adalah pergerakan bahan pencemar dari area konsentrasi tinggi ke area konsentrasi rendah dalam udara. Bahan pencemar akan terus berdifusi sampai terjadi keseimbangan konsentrasi. Proses difusi ini dipengaruhi

oleh perbedaan konsentrasi, suhu, kelembaban, dan turbulensi udara.

3. Sedimentasi: Sedimentasi terjadi ketika partikel-partikel padat yang terdapat dalam udara, seperti partikel debu atau partikel polutan yang terbawa oleh emisi industri atau asap kendaraan, turun dan mengendap ke permukaan bumi. Faktor-faktor seperti berat partikel dan kecepatan angin akan mempengaruhi sedimentasi partikel-partikel tersebut.
4. Deposisi Kering dan Basah: Deposisi kering terjadi ketika partikel-partikel polutan atau bahan kimia terdeposit pada permukaan tanah atau objek secara langsung, tanpa melalui proses pencairan atau reaksi dengan air. Deposisi basah terjadi ketika partikel-partikel polutan atau bahan kimia terdeposit pada permukaan tanah atau objek setelah melalui proses pencairan dalam hujan, salju, atau embun.
5. Transport Jarak Jauh: Bahan pencemar dapat mengalami pergerakan jarak jauh melintasi wilayah dan bahkan lintas negara melalui proses transport jarak jauh. Hal ini terjadi ketika bahan pencemar dihasilkan di satu daerah dan kemudian terbawa oleh angin ke daerah yang jauh dari sumbernya.

Faktor-faktor seperti kecepatan dan arah angin, suhu, kelembaban, dan topografi dapat mempengaruhi mekanisme pergerakan bahan pencemar di udara. Pemahaman tentang mekanisme ini penting untuk memahami sebaran pencemaran udara, pengaruhnya terhadap kualitas udara, dan upaya pengendalian polusi udara yang efektif.

## DAFTAR PUSTAKA

- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), & Water Environment Federation (WEF). (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington, DC: APHA.
- Brown, L. R., & Kane, H. (Eds.). 2015. *Vital Signs: The Environmental Trends That Are Shaping Our Future*. New York: W.W. Norton & Company.
- Cairns, J., & Niederlehner, B. 1996. *Indicators of Ecological Stress*. New York: Lewis Publishers.
- EPA. 2012. *Guidelines for Ecological Risk Assessment*. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.
- Hester, R. E., & Harrison, R. M. (Eds.). 2016. *Environmental and Human Health: Risk Management in Developing Countries*. Cambridge: Royal Society of Chemistry.
- Kovacic, D. A., O'Connor, T. P., & Wolff, G. A. (Eds.). 2008. *Concepts in Urban Stormwater Management*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Mackenzie, F. T., & Lerman, A. 2006. *Carbon in the Geobiosphere: Earth's Outer Shell*. New York: Springer.
- Scholz, M., & Roy, A. H. (Eds.). 2014. *Wetlands and Urbanization: Implications for the Future*. New York: Springer.
- USEPA. 2017. *Environmental Quality Indicators: A Practical Guide*. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.
- World Health Organization (WHO). 2011. *Guidelines for Drinking-Water Quality*. Geneva: WHO Press.
- Holling, C. S. 1973. Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1-23.

- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., & Behrens, W. W. 1972. *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. New York: Universe Books.
- Odum, H. T. 1996. *Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making*. New York: Wiley.
- Rees, W. E. 1992. Ecological Footprints and Appropriated Carrying Capacity: What Urban Economics Leaves Out. *Environment and Urbanization*, 4(2), 121-130.
- Rees, W. E., & Wackernagel, M. 1996. Urban Ecological Footprints: Why Cities Cannot Be Sustainable - and Why They Are a Key to Sustainability. *Environmental Impact Assessment Review*, 16(4-6), 223-248.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., ... Foley, J. A. 2009. Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecology and Society*, 14(2), 32.
- Turner, B. L., Kasperson, R. E., Matson, P. A., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensen, L., ... Schiller, A. 2003. A Framework for Vulnerability Analysis in Sustainability Science. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(14), 8074-8079.
- Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J., & Melillo, J. M. 1997. Human Domination of Earth's Ecosystems. *Science*, 277(5325), 494-499.

# **BAB 3**

## **BIOMONITORING DAN PERUBAHAN LINGKUNGAN**

*Oleh Tarzan Purnomo*

### **3.1 Pendahuluan**

Lingkungan hidup terdiri dari komponen abiotik dan biotik, yang bersifat dinamis sehingga akan terus berubah, baik secara alamiah maupun karena perbuatan manusia (anthropogenik). Pada umumnya perubahan lingkungan yang diakibatkan oleh aktivitas manusia cenderung ke arah yang tidak baik, dan berdampak buruk bagi kelangsungan hidup tumbuhan, hewan, dan manusia. Untuk itu perlu dilakukan perlindungan dan pengelolaan lingkungan yang tepat, sistematis, konsisten, dan berkelanjutan oleh semua pemangku kepentingan. Salah satu tahapan dalam manajemen pengelolaan lingkungan adalah kemampuan untuk mendeteksi terjadinya perubahan lingkungan. Tahapan ini sangat penting dalam menentukan strategi pengelolaan lingkungan secara tepat, karena dapat mencegah terjadinya perubahan-perubahan yang berdampak negatif bagi kelestarian lingkungan. Dalam melakukan monitoring terhadap perubahan lingkungan, salah satu diantaranya adalah melalui biomonitoring.

Biomonitoring merupakan teknik penggunaan respon organisme (makhluk hidup) 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). Hal ini dikarenakan penggunaan indikator fisik dan kimia dalam monitoring terhadap toksikan di lingkungan bersifat sangat dinamis (cenderung berubah) terhadap waktu (temporal) dan tempat (spasial). Berbeda dengan indikator organisme atau “sistem biologi” yang bisa mengintegrasikan hampir semua variabel lingkungan pada kurun waktu relatif lama dengan teknik pengukuran yang relatif lebih mudah, serta biaya 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.

Tujuan utama dari biomonitoring adalah untuk memantau dan mengeksplorasi dinamika ekosistem melalui perubahan keanekaragaman hayati. Dengan memantau kondisi ekosistem dan keanekaragaman hayati, kita dapat menilai perubahan lingkungan berdasarkan indikator ekologis untuk menemukan perubahan yang muncul dalam struktur, fungsi, dan komposisi sistem ekologi sehubungan dengan pengaruh alami dan buatan manusia. Indikator ekologis digunakan dalam pemantauan seluruh ekosistem dan pemilihan indikatornya.

Penggunaan indikator biologis yang tepat dan presisi sangat substansial untuk biomonitoring atau pemantauan lingkungan. Fitur bioindikator primer termasuk densitas dan diversitas spesies, dapat diukur dengan mudah, menampilkan konsistensi yang tinggi, lebih sensitif dan rentan terhadap perubahan ekologis. Hal ini dikarenakan beberapa spesies dalam ekosistem cenderung merespons dengan cara yang lebih baik terhadap perubahan lingkungan.

Biomonitoring adalah monitoring kualitas lingkungan secara biologi yang dilakukan dengan melihat keberadaan

kelompok organisme indikator (petunjuk) yang hidup di lingkungan tersebut. Keuntungan dari penggunaan bioindikator karena hidup melekat pada substrat dan motilitasnya rendah atau tidak mudah bergerak berpindah, sehingga dapat merekam kondisi lingkungan habitatnya dari waktu ke waktu.

### 3.2 Perubahan Lingkungan

Kualitas lingkungan adalah kondisi dan keadaan unsur-unsur atau komponen-komponen lingkungan hidup, baik abiotik maupun biotik yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan dan atau sesuai dengan standard baku mutu lingkungan. Lingkungan hidup yang berkualitas dicirikan oleh keadaan dan kondisi unsur-unsur atau komponen-komponen lingkungan hidup yang saling berinteraksi (*interactive*), saling ketergantungan satu sama lainnya (*interdependency*), hubungan antar unsur atau komponen lingkungan harmonis (*harmony*) selaras, berkemampuan untuk bertahan hidup dalam keberagaman (*diversity*), seluruh unsur atau komponen lingkungan melaksanakan perannya sesuai fungsinya masing-masing (*utility*). Informasi tentang kualitas lingkungan ini dapat diperoleh dari indikator-indikator kondisi lingkungan hidup yang dapat dimanfaatkan sebagai ilmu pengetahuan, dan keadaan atau kondisi-kondisi ini bisa diupayakan untuk dapat berlangsung secara berkelanjutan (*sustainability*).

Faktor kualitas lingkungan hidup adalah unsur atau komponen-komponen lingkungan hidup yang dapat mempengaruhi dan dipengaruhi oleh unsur atau komponen-komponen lingkungan hidup. Analisis kualitas lingkungan hidup memfokuskan pada aspek pengaruh aktivitas manusia terhadap kualitas komponen lingkungan hidup lainnya, seperti kualitas: air, udara, flora, fauna dan mikroorganisme. Dengan demikian analisis kualitas lingkungan adalah kegiatan untuk menentukan apakah suatu hal terkait lingkungan dan ekologi dalam keadaan baik atau tidak atau dampak apa yang bisa ditimbulkan terhadap lingkungan

dan ekologi serta makhluk hidup di dalamnya. Untuk itu perlu dilakukan analisis terhadap kualitas lingkungan.

Analisis kualitas lingkungan adalah kegiatan yang dilakukan untuk menentukan apakah suatu lingkungan dalam keadaan baik atau tidak atau dampak apa yang dapat ditimbulkan terhadap lingkungan dan makhluk hidup didalamnya. Substansi yang dianalisis dapat bermacam-macam, misalnya kualitas udara, air, tanah, flora, fauna dan sebagainya.

Tujuan analisis kualitas lingkungan antara lain: 1) memperoleh keselamatan hubungan antara manusia dan lingkungan 2) melindungi manusia terhadap dampak dari setiap aktivitas yang dapat menyebabkan kerusakan dan pencemaran lingkungan 3) memberikan informasi kepada para pengambil keputusan di tingkat pusat dan daerah 4) memperoleh informasi tentang besarnya masalah yang ada di lingkungan dan langkah-langkah pengendaliannya 5) menentukan prioritas pemecahan masalah, tentang kecenderungan kejadian penyakit yang berkaitan dengan lingkungan.

Sejalan dengan penambahan penduduk dan peningkatan kegiatan pembangunan sosial-ekonomi, lingkungan terus mengalami tekanan. Konsekuensi dari tekanan terhadap lingkungan adalah masalah pengelolaan yang timbul karena konflik pemanfaatan akibat dari berbagai kepentingan (Apridar, 2010) dan terjadinya pencemaran. Misalnya pada lingkungan perairan pesisir dan laut. Beberapa jenis pengelolaan dan pemanfaatan pantai yang belakang ini semakin berkembang di antaranya yaitu sebagai pemukiman penduduk, sumber perikanan, pertambangan, transportasi, tempat rekreasi dan pariwisata (Bengen, 2001). Salah satu dampak dari pemanfaatan pantai yaitu terjadinya penurunan kualitas lingkungan perairan. Untuk itu monitoring terhadap kualitas perairan perlu dilakukan, dengan tujuan mencegah hilangnya daya dukung lingkungan perairan bagi biota laut. Dalam monitoring dapat digunakan spesies indikator yang dapat

mendeteksi kualitas perairan yaitu dengan menggunakan makhluk hidup yang ada di perairan tersebut yaitu plankton, benthos, atau ikan. Plankton memiliki peran penting dalam keseimbangan ekosistem karena merupakan salah satu komponen dalam rantai makanan akuatik. Kehidupan plankton sangat dipengaruhi oleh parameter fisik kimia perairan yaitu salinitas, pH, kadar oksigen terlarut, karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), arus, dan kejernihan air. Berdasarkan penelitian Edward, dkk., (2016), kualitas lautan (pergeseran biogeografis dan fenologis), kesehatan ekosistem (kualitas air dan patogenitas laut), status ekosistem (keanekaragaman hayati dan spesies invasif) mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya limbah di laut. Fokus awal penelitian oseanografi berupa prakiraan cuaca dan iklim melalui serangkaian peralatan pengamatan seperti kapal pengamat dan satelit untuk mengukur suhu dan salinitas lautan, sedangkan fokus terbaru oseanografi adalah pada sifat biologis laut yaitu plankton secara umum (Lindstrom dkk, 2012). Fitoplankton merupakan organisme produsen pada rantai makanan di lautan sehingga dapat dijadikan parameter biologi yaitu bioindikator untuk mengevaluasi kualitas dan tingkat kesuburan perairan, mengetahui jenis – jenis fitoplankton yang dominan, jenis fitoplankton yang dapat hidup karena adanya zat – zat tertentu yang masuk kedalam perairan, serta dapat menunjukkan kualitas dan produktivitas suatu perairan (Hutabarat, 2014).

### **3.2.1 Mengapa Lingkungan Berubah ?**

Beberapa faktor yang dapat memicu timbulnya perubahan lingkungan adalah:

1. *Perusakan habitat*

Permintaan yang terus meningkat terhadap hasil sumber daya alam untuk pemenuhan kebutuhan manusia berperan sebagai penyebab hilangnya keragaman genetik, perubahan ekosistem seperti timbulnya penyakit, peningkatan atau penurunan populasi, fragmentasi habitat,

dan pengurangan jumlah spesies. Perusakan habitat, telah menyebabkan ancaman bagi hilangnya keanekaragaman hayati.

2. *Over eksploitasi sumber daya hayati*

Jika individu dari suatu spesies dapat dipertahankan lebih lama periode waktu dengan kapasitas reproduksinya pada tingkat yang lebih tinggi, populasi dikatakan dipanen atau dieksploitasi pada tingkat yang lebih tinggi. Kegiatan eksploitasi sumberdaya hayati seperti menangkap ikan, berburu, mengumpulkan makanan, secara berlebihan menyebabkan kepunahan sumber daya hayati dan mengurangi jumlah spesies dalam ekosistem. Dengan demikian, akan eksploitasi sumber daya atau sumber daya hayati secara berlebihan menjadi ancaman utama bagi keanekaragaman hayati.

3. *Pencemaran*

Semua jenis polusi, baik fisik, kimia, biologi atau termal menjadi ancaman bagi keanekaragaman hayati. Mayoritas spesies yang hidup di habitatnya terancam berbahaya oleh aktivitas industri, polusi, dan penggunaan bahan kimia polutif yang berlebihan. Terjadinya pencemaran pada akhirnya akan merusak ekosistem.

4. *Invasi biologis*

Invasi biologis dapat terjadi karena disengaja atau tidak disengaja. Invasi biologis spesies baru dapat memicu terjadinya perubahan dalam ekosistem. Masuknya organisme spesies baru yang muncul dari habitat di mana mereka tidak ditemukan. Spesies baru yang berasal dari habitat baru umumnya disebut sebagai polutan biologis. Dampak ekologis dari invasi biologis adalah terjadinya gangguan rantai makanan dan jejaring makanan, kompetisi, hibridisasi, gangguan ekosistem, penularan penyakit, pengaruh tumbuhan patogen, dan kepunahan spesies dalam situasi

husus. Masuknya spesies baru dengan sengaja untuk berbagai jenis alasan seperti untuk hiasan; pertanian; kegiatan berburu; penelitian ilmiah untuk pengembangan bioteknologi; dan perdagangan.

5. *Perubahan iklim*

Perubahan iklim terjadi terutama akibat karbon dioksida global meningkat di atmosfer yang mengakibatkan pemanasan global. Instabilitas suatu ekosistem tidak dapat ditoleransi ketika sebagian besar spesies berasal dalam batas fisiologis yang sempit. Oleh karena itu, perubahan yang terjadi baik secara bertahap atau tiba-tiba akan menyebabkan terjadinya kepunahan spesies tertentu.

6. *Pertumbuhan populasi manusia*

Dengan meningkatnya populasi manusia, permintaan terhadap bahan baku juga akan meningkat yang mengakibatkan perubahan keanekaragaman hayati. Oleh karena itu, mengendalikan populasi manusia akan menjadi satu-satunya solusi untuk melestarikan keanekaragaman hayati untuk generasi mendatang.

### **3.2.2 Dampak Perubahan Lingkungan**

Terjadinya perubahan lingkungan akan menimbulkan dampak berupa terancamnya kelangsungan hidup organisme yang hidup di lingkungan tersebut. Secara umum, ancaman didefinisikan sebagai proses atau kejadian alami atau buatan manusia yang menyebabkan dampak buruk terhadap keanekaragaman hayati secara berkelanjutan. Pada umumnya keanekaragaman hayati telah menurun akibat kegiatan antropogenik. Beberapa penelitian menunjukkan hilangnya sejumlah besar spesies akibat ancaman terhadap habitat atau ekosistemnya. Belakangan ini, jumlah ancaman tertinggi terhadap ekosistem telah teridentifikasi. Kerusakan ekosistem

diidentifikasi sebagai salah satu sumber daya hayati yang disebabkan oleh kebijakan tidak tepat yang mengakibatkan hilangnya keanekaragaman hayati. Hilangnya keanekaragaman hayati selanjutnya dapat menyebabkan penurunan daya dukung ekosistem, penurunan produksi tanaman, dan penurunan resistensi lingkungan terhadap polutan fisik, kimia dan biologi. Akibat semua itu tingkat kepunahan spesies yang lebih cepat yang dihadapi dunia sekarang sebagian besar disebabkan oleh aktivitas manusia.

Berbagai kegiatan antropogenik, tingginya arus urbanisasi, pesatnya pembangunan di bidang industri dan permukiman menyebabkan berbagai permasalahan lingkungan, termasuk di antaranya menurunnya luasan ruang terbuka hijau karena dikonversi menjadi kawasan perumahan dan fragmentasi habitat. Perubahan tersebut menyebabkan terjadinya perubahan bahkan penurunan komponen - komponen lingkungan sehingga berpengaruh pada demografi dan proses genetik organisme yang hidup di dalamnya (Dubois & Cheptou, 2017). Pendekatan yang dapat dilakukan untuk mengetahui kondisi lingkungan dalam menanggulangi terjadinya penurunan kualitas lingkungan adalah dengan mengevaluasi hubungan antara faktor penyebab gangguan lingkungan terhadap bioindikator.

### **3.3 Biomonitoring**

#### **3.3.1 Pengertian dan Konsep Biomonitoring**

Pemantauan atau monitoring didefinisikan sebagai proses mengamati dan mengukur keadaan indikator kunci seperti parameter fisik, kimia, dan biologi dengan memperhatikan unsur lingkungan atau medium. Monitoring fisik dilakukan dengan mengukur parameter fisik seperti suhu, kecepatan arus, kecepatan angin, iklim, dan variabel fisik lainnya. Monitoring kimia yaitu memantau variabel kimia yang bertanggung jawab terhadap pencemaran lingkungan. Namun,

kedua jenis monitoring ini tidak menghasilkan efek jangka panjang akibat dari polusi terhadap lingkungan. Dengan demikian mengkaji ekosistem dengan memperhatikan pemantauan fisik dan kimiawi tidak dapat diandalkan. Oleh karena itu, konsep biomonitoring diperkenalkan untuk menilai efek jangka panjang dari polutan yang teridentifikasi pada ekosistem dan memberikan hasil yang dapat diandalkan.

Biomonitoring kualitas lingkungan adalah penggunaan respons organisme secara sistematis untuk mengevaluasi perubahan-perubahan kualitas lingkungan. Biomonitoring merupakan metode pemantauan kualitas lingkungan dengan menggunakan indikator biologis (bioindikator) (Nichols *et al.*, 2007). Metode biomonitoring saat ini telah banyak dikembangkan di beberapa negara. Biomonitoring atau pemantauan biologis menggunakan variabel biologis untuk menilai aspek struktural, fungsional dan komposisi dari suatu ekosistem. Variabel biologis ini memainkan peran penting dalam pengendalian perubahan lingkungan.

Biomonitoring adalah penggunaan organisme simbiotik secara sistematis untuk menilai kualitas lingkungan. Ini memungkinkan untuk memeriksa efek aditif polutan dan memantau kondisi kesehatan ekosistem secara keseluruhan [2]. Oleh karena itu, biomonitoring bertindak untuk melengkapi teknik pemantauan fisik dan kimia yang umum diterapkan. Biomonitoring didefinisikan sebagai tindakan mengamati, memperhatikan, dan menilai perubahan dalam ekosistem, struktur ekosistem, komposisi keanekaragaman hayati, dan fungsi ekosistem dan keanekaragaman hayati termasuk berbagai jenis habitat, spesies kunci dan populasi [2]. Keuntungan dari biomonitoring adalah lebih kaya daripada pemantauan fisik dan kimia yang meliputi: (1) mencerminkan keutuhan lingkungan secara keseluruhan yang terdiri dari pemantauan fisik, kimia dan biologi; (2) memberikan ukuran

kondisi ekologis yang terintegrasi dan holistik dengan menyatukan tekanan-tekanan selama periode waktu tertentu; dan (3) memberikan pemahaman yang lebih baik tentang kondisi lingkungan yang sehat untuk pengawasan dan pelestariannya.

Biomonitoring dapat dilakukan dengan melihat perubahan aspek struktural, fungsional, dan komposisi keanekaragaman hayati dan ekosistem yang terpengaruh karena aktivitas antropogenik yang merugikan. Berbagai belahan dunia sedang melakukan program dengan tujuan menyebarkan kesadaran tentang polutan terhadap komunitas organisme. Beberapa pendekatan, metode dan strategi diidentifikasi untuk memantau dampak polutan secara ekologis, empat di antaranya telah mendapat persetujuan. Pendekatan pertama adalah memantau efek polusi terhadap pada tidak adanya atau adanya taksa, perubahan komposisinya atau perubahan drastis lainnya. Dengan kata lain, langkah pertama adalah memantau dampak buruk polutan terhadap komunitas organisme. Setelah itu, konsentrasi polutan dalam indikator harus diukur. Kemudian, efek polutan yang teridentifikasi pada organisme harus dinilai dan diklasifikasi menjadi indikator abiotik dan biotik. Terakhir, identifikasi strain spesies yang berbeda yang mengembangkan resistensi sebagai respons terhadap polutan.

Pengukuran parameter fisika dan kimia hanya dapat menggambarkan kualitas lingkungan pada waktu tertentu. Indikator biologi dapat memantau secara kontinyu dan merupakan petunjuk yang mudah untuk memantau terjadinya pencemaran. Keberadaan organisme perairan dapat digunakan sebagai indikator terhadap pencemaran air selain indikator kimia dan fisika (Utomo *et al.*, 2013). Menurut Silalahi (2010) keanekaragaman spesies dapat dijadikan sebagai indikator kualitas air. Suatu komunitas dikatakan memiliki keanekaragaman spesies

yang tinggi bila terdapat banyak spesies dengan jumlah individu masing-masing spesies relatif merata. Bila suatu komunitas hanya terdiri dari sedikit spesies dengan jumlah individu yang tidak merata maka komunitas tersebut mempunyai keanekaragaman yang rendah dan itu menjadi indikasi bahwa suatu perairan telah tercemar. Nilai pendekatan terhadap besarnya penurunan kualitas perairan pada stasiun dan sepanjang lokasi pembuangan limbah dinyatakan dalam suatu saprobitas kualitas perairan. Saprobitas kualitas perairan (*water quality*) disusun berdasarkan perubahan parameter fisika dan kimia yang diduga merupakan parameter penentu terhadap perubahan kondisi perairan. Parameter fisika kimia menggambarkan perubahan lingkungan pada saat tertentu (*temporer*) sehingga untuk perairan dinamis kurang memberikan gambaran sesungguhnya.

### 3.3.2 Jenis Biomonitoring

Secara operasional, pengertian biomonitoring mengacu kepada upaya kompilasi data berdasarkan hasil pengujian biologi lingkungan baik di laboratorium maupun lapang. Oleh karena itu biomonitoring ditinjau dari kategori pengembangan teknik operasional dikelompokkan menjadi:

1. *Bioassessments study*; studi pendalaman komunitas makhluk hidup pada suatu lingkungan termasuk fungsi dan struktur komunitas.
2. *Toxicity bioassays*; kegiatan pengujian di laboratorium untuk menganalisis efek polutan terhadap bentuk-bentuk kehidupan (flora dan fauna).
3. *Behavioral bioassays*; mengkaji efek *subletal* terhadap perilaku atau kondisi flora dan fauna uji, sebagai dasar upaya peringatan dini (*early warning system*).
4. *Bioaccumulation study*; kajian dosis kontaminan yang diserap flora dan fauna uji dan dampaknya dalam rantai makanan (*food chain*).

## 1. **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 lingkungan itu telah terkena dampak negatif oleh aktivitas manusia atau tidak. *Bioassessment* berperan dalam restorasi dengan memungkinkan ahli biologi dan regulator (pengambil kebijakan) untuk mengidentifikasi ekosistem akuatik yang membutuhkan pemulihan, menentukan tujuan restorasi, mengukur atau memperkirakan respons terhadap perubahan, dan mengukur keberhasilan restorasi.

## 2. **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).

### 3. **Behavioral bioassays (Bioassay Perilaku)**

*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).

#### 4. **Bioaccumulation study**

*Bioaccumulation study*, adalah melakukan kajian dosis kontaminan yang diserap oleh tumbuhan atau 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 konsentrasi 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).

### 3.3.3 Fungsi dan Manfaat Biomonitoring

Tujuan biomonitoring adalah dengan pemantauan yang dilakukan dapat mencegah terjadinya paparan bahan kimia atau polutan yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan lingkungan, baik secara akut maupun kronis. Pemantauan biologi suatu paparan merupakan aktivitas pencegahan yang sangat penting dan mendeteksi efek akibat bahan kimia. Hal ini disebut sebagai aktivitas survailen kesehatan (*Health surveillance*). Khusus untuk petanda biologi yang peka (*sensitive biological marker*), suatu pemantauan biologi bertujuan untuk mendeteksi tanda keracunan secara dini sebagai aktivitas pencegahan.

Manfaat biomonitoring adalah mengetahui data-data penting terkait meningkatnya ancaman dan mencegah terjadinya pencemaran lingkungan. Selain itu, biomonitoring juga dapat membantu para ilmuwan dan manajer risiko dalam memprioritaskan untuk kegiatan tindak lanjut atau manajemen resiko. Secara umum penggunaan biomonitoring diantaranya adalah.

#### 1. Biomonitoring Logam

Biomonitoring logam dapat dilakukan dengan pemeriksaan suatu media untuk menentukan jenis dan konsentrasi logam. Media yang dipakai dapat berupa darah, urine, jaringan tubuh ikan, hewan invertebrata, dan tumbuhan.

- a) Logam yang dapat ditemukan pada darah atau urine: Cadmium, Zat besi, Manganese, Tembaga, Merkuri, dan Zink
- b) Logam berat di atmosfer yang ditemukan pada jaringan tubuh burung: partikel timbal, Cadmium, Arsen, Merkuri. Logam berat tersebut berasal dari pabrik pengelasan logam dan secara tidak langsung burung memakan serangga dengan yang terkontaminasi oleh logam berat. Tempat akumulasi

logam berat di dalam tubuh burung pada jaringan dan bulu burung.

- c) Logam berat di perairan yang ditemukan pada ikan: Chromium, Tembaga, Timbal, Zink. Logam tersebut akan meningkat kadarnya, apabila ada peningkatan BOD di perairan.
- d) Logam berat di perairan yang ditemukan pada hewan invertebrata: Chromium, Cadmium, tembaga, timbal, cobalt, nikel. Adanya logam berat tersebut pada tubuh invertebrata merupakan indikator tercemarnya lingkungan perairan.
- e) Tanaman akuatik dan tanaman terestrial dapat dipakai sebagai bioindikator lingkungan yang terkontaminasi oleh logam berat. Pabrik pengecoran besi yang mengeluarkan bahan pencemar udara logam berat dapat dideteksi pada tanaman dengan analisis *Neutron Activation Analysis*.

## 2. *Biomonitoring Zat Organik*

Akumulasi zat organik pada beberapa spesies mammalia merupakan bioindikator yang potensial untuk mendeteksi pencemaran lingkungan. Beberapa zat organik yang dipakai indikator antara lain:

- a) Perubahan non protein sulhidril pada sel liver tikus sebagai indikator terpapar oleh pestisida.
- b) Meningkatnya bilirubin pada tikus, menunjukkan adanya paparan oleh *tri nitro toluen* (tnt),
- c) Terdapatnya hubungan antara pencemaran lingkungan dengan *poly chlorinated bifenil* (pcb), dioxin, dan furan pada manusia.
- d) Terdapatnya dioxin, furan, pcb, dde, dan lindane pada telur burung sebagai indikator tercemarnya lingkungan oleh zat organik,

- e) Terakumulasinya pcb, pestisida, dan bahan antropogenik pada tubuh ikan sebagai indikator tercemarnya ekosistem perairan
- f) Meningkatnya aktivitas *mixed function oxidase* (mfo) pada ikan di sungai yang tercemar oleh bahan organik, pah, dioxin, dan pcb.
- g) Aktivitas xenobiotik – dna adduct, cytochrome p 450 induksi dan *oryl hidrokarbon hidroksilase* pada ikan dipakai sebagai biomarker pencemaran pantai oleh pcb dan ddt.
- h) Menurunnya komunitas phytoplankton dapat dipakai sebagai biomonitoring pencemaran pestisida dalam perairan.

### 3. *Biomonitoring Limbah Cair*

Beberapa studi toksisitas untuk menilai dampak buangan limbah cair menggunakan bakteri dan invertebrata. Limbah pabrik kertas yang mengandung bahan kimia pemutih dapat dilakukan studi memakai biota air misalnya ikan. Cara baru untuk menilai kualitas air laut yang terkontaminasi oleh bahan kimia pemutih adalah dengan bioassay antara lain: uji inhibisi pertumbuhan algae dan uji larva biota air.

### 4. *Biomonitoring Pencemar Udara*

Perubahan ambien atmosfer oleh adanya bahan pencemar udara akan mempengaruhi kehidupan tumbuhan. Daun pinus jarum dapat dipakai sebagai bioindikator pencemaran alifatik hidrokarbon. Dengan pemeriksaan gas kromatografi ditemukan bahwa kadar hidrokarbon lebih tinggi pada daun pohon pinus yang berumur tua. Tanaman tingkat rendah antara lain lichen *Parmalia sulcata* dapat sebagai indikator pencemaran udara. Dengan demikian lichen dapat dipakai sebagai biomonitor untuk pencemar udara.

### 5. *Biomonitoring Asidifikasi*

Salah satu akibat masuknya polutan adalah menurunnya pH perairan sehingga menjadi rendah atau bersifat asam. Keasaman perairan dapat dideteksi dengan memakai biomarker biota yang hidup dalam perairan tersebut. Dalam keadaan pH rendah (pH=3), maka logam besi dan manganese akan terdeteksi dalam perairan. Efek perairan dengan pH rendah, logam yang toksis dan *Dissolve Organic Carbon* (DOC) terhadap hewan amfibi akan menyebabkan terlambatnya metamorfosis, menurunnya daya tahan dan menurunnya berat badan hewan amfibi.

#### 6. *Biomonitoring Kesehatan Manusia*

Biomonitoring Pb dan Cd pada wanita yang melahirkan, dilakukan dengan pemeriksaan ASI dan darah. Karyawan industri petrokimia yang terpapar dengan PAH pada pemeriksaan urine ditemukan biomarker *hidroksipirene*.

### 3.4 Bioindikator

Bioindikator adalah spesies, kelompok spesies 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 (Ellenberg, 1991, 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 penampakkannya 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 kondisi 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 ekosistem; atau menggambarkan keragaman kelompok takson, atau keragaman dalam suatu daerah yang diamati. Hal ini dikarenakan organisme dapat memonitor perubahan (biokimia, fisiologi, atau kebiasaan) yang 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:

1. Fitointikator.

Tumbuhan sebagai bioindikator. Penerapan fitointikator memiliki beberapa manfaat, yaitu (a) menunjukkan adanya paparan polutan, (b) memudahkan identifikasi racun, (c) menjadi indikator peringatan dini (*early warning*) rusaknya lingkungan, (d) menjadi indikator dini (*early indicator*) pemulihan lingkungan, dan (e) melengkapi data analisis mengenai dampak lingkungan (AMDAL).

2. Zooindikator

Adalah hewan sebagai indikator, yang berfungsi sebagai: a. Keystone species, b. endangered species, atau c. Bioindication sensu lato (secara luas).

3. *Isozim Sebagai Bioindikator Degradasi Ekosistem*

Bioindikator juga dapat diterapkan pada tingkat gen. Isozim dapat mengakibatkan perbedaan proses transkripsi dalam gen sehingga dapat menyebabkan terjadinya modifikasi pada proses translasi, serta dapat menyebabkan ekspresi dari

struktur morfologi yang berbeda. Dinamika isozim terjadi seiring dengan dinamika gen, sehingga sangat beralasan apabila dinamika isozim digunakan untuk menentukan perubahan lingkungan khususnya yang mengarah pada degradasi ekosistem. Mutasi gen pada dasarnya terjadi karena perubahan lingkungan, sehingga dinamika isozim sangat berarti dalam mendeteksi terjadinya mutasi secara lebih dini dan akurat dibandingkan menggunakan pengamatan secara visual. Menurut Singer dan Berg (1991) wujud ekspresi gen pada organisme adalah protein, polipeptida ini terbentuk melalui rangkaian proses transkripsi dan translasi. Badel dan Tatum (1963) mengemukakan hipotesis mengenai keterkaitan antara gen dan enzim, yaitu *one gene one enzyme* yang kemudian berkembang menjadi *one gene one polypeptide*, karena enzim merupakan protein yang tersusun oleh polipeptida, maka sifat-sifat protein juga melekat pada enzim. Wiseman (2000) menyatakan bahwa biomonitoring seharusnya ditunjukkan dengan perubahan pada tingkat molekuler sebagai biomarker sehingga dapat diperlakukan sebagai bioindikator. Dengan mengetahui keanekaragaman isozim maka akan semakin besar kemungkinan mengetahui proses dinamika struktur komunitas dalam ekologi yang dapat digunakan untuk memonitoring proses degradasi ekosistem.

#### 4. *Makroinvertebrata Sebagai Bioindikator Kualitas Air*

Pemantauan kualitas air dapat menggunakan indikator biologi dengan metode biomonitoring. Indikator biologi yang paling baik digunakan adalah makroinvertebrata, karena adanya faktor preferensi habitatnya dan mobilitasnya yang relatif rendah menyebabkan makroinvertebrata dapat digunakan sebagai makhluk hidup yang keberadaannya sangat dipengaruhi secara langsung oleh semua bahan yang masuk ke dalam lingkungan perairan (Dwitawati dkk., 2015). Makroinvertebrata dapat memberikan gambaran mengenai

kondisi fisik, kimia dan biologi suatu perairan. Salah satu biota yang dapat digunakan sebagai parameter biologi dalam menentukan kondisi suatu perairan adalah makrozoobentos (Sinaga, 2009). Sinaga (2009) juga mengatakan bahwa bentos sering digunakan sebagai indikator atau petunjuk kualitas air. Pada perairan yang sehat (belum tercemar) akan menunjukkan jumlah individu yang seimbang dari hampir semua spesies yang ada. Sebaliknya suatu perairan tercemar, penyebaran jumlah individu tidak merata dan cenderung ada spesies yang mendominasi.

Makroinvertebrata (bentos) adalah hewan tidak bertulang belakang yang hidup di dasar laut atau sungai baik yang menempel pada pasir maupun lumpur (Widiyanto dkk, 2016). Menurut Rahmawati dkk (2015) makroinvertebrata bentos merupakan organisme dasar perairan yang relatif tidak mudah bermigrasi dan memiliki kepekaan tinggi akibat pencemaran perairan, sehingga dapat memberikan gambaran mengenai kondisi fisik, kimia dan biologi suatu perairan. Makroinvertebrata air merupakan komponen biotik pada ekosistem perairan yang dapat memberikan gambaran mengenai kondisi fisik, kimia dan biologi suatu perairan, sehingga digunakan sebagai indikator kualitas air sungai (Rahayu, 2009). Selain itu, makroinvertebrata air memiliki sifat-sifat sebagai berikut: 1. Sangat peka terhadap perubahan kualitas air tempat hidupnya, sehingga akan mempengaruhi komposisi dan kelimpahannya, 2. ditemukan hampir di semua perairan, 3. jenisnya cukup banyak dan memberikan respon yang berbeda akibat gangguan yang berbeda, 4. pergerakannya terbatas, sehingga dapat sebagai penunjuk keadaan lingkungan setempat, 5. tubuhnya dapat mengakumulasi racun, sehingga dapat sebagai petunjuk pencemaran, 6. mudah dikumpulkan dan diidentifikasi paling tidak sampai tingkat famili, 7. pengambilan sampel mudah

dilakukan, karena memerlukan peralatan sederhana, murah dan tidak berpengaruh terhadap makhluk hidup lainnya. Makrozoobentos sudah banyak digunakan di berbagai negara sebagai parameter biologi untuk memantau pencemaran air. Hewan ini terdapat di hampir seluruh badan sungai mulai dari hulu hingga ke hilir. Keberadaan makrozoobentos yang hidupnya menetap dalam waktu lama dapat digunakan untuk menduga status kualitas air sungai. Penggunaan makrobentos sebagai penduga kualitas air dapat digunakan untuk kepentingan pendugaan pencemaran baik yang berasal dari *point source pollution* maupun *diffuse source pollution* (Grahari, 2015).

Kovacs (1992) menyebutkan bahwa makrozoobentos dapat dijadikan organisme indikator karena mempunyai sifat spesifik terhadap perubahan kualitas air. Makrozoobentos yang migrasi karena terbawa aliran air dari hulu sungai ke estuarin mengalami proses adaptasi dengan lingkungan estuarin. Dinamika sedimen akibat terjadi akumulasi material yang terbawa oleh aliran sungai juga secara tidak langsung mempengaruhi pola adaptasinya. Hal inilah yang dapat diasumsikan timbulnya variasi alloenzim sehingga pada tingkat degradasi ekosistem dapat dideteksi dari dinamika isoenzimnya. Menurut Ives *et al.* (1999) timbulnya variasi dalam suatu populasi tergantung pada sensitifitasnya terhadap fluktuasi perubahan lingkungan, yakni interaksi antar spesies. Setiap spesies akan menunjukkan efek yang berbeda dalam menanggapi suatu kompetisi, dan biodiversitas yang meningkat pada suatu komunitas akan sangat mendukung terwujudnya stabilitas komunitas tersebut. Struktur komunitas organisme perairan dipengaruhi oleh sifat fisika dan kimia air, antara lain: kecepatan arus, padatan tersuspensi, suhu air, DO, pH, BOD dan amoniak (Hellawell, 1986). Biomonitoring dengan menggunakan parameter kualitas air

dan dinamika struktur komunitas makrozoobentos melalui kajian elektromorf isozim sangat efektif apabila dilakukan secara sinergis.

Bioindikator adalah kelompok atau komunitas organisme yang keberadaannya atau perilakunya di alam berhubungan dengan kondisi lingkungan, apabila terjadi perubahan kualitas lingkungan maka akan berpengaruh terhadap keberadaan dan perilaku organisme tersebut, sehingga dapat digunakan sebagai indikator (penunjuk) kualitas lingkungan. Misalnya pada lingkungan akuatik, jenis ideal yang dapat digunakan sebagai bioindikator adalah organisme akuatik yang tidak memiliki tulang belakang (makroinvertebrata). Makroinvertebrata akuatik menempati beberapa daerah yang dipengaruhi oleh cahaya matahari. Beberapa spesies bioindikator sangat sensitif terhadap perubahan. Karena itu pemantauan kualitas air sungai, danau, atau laut dapat dilakukan dengan melakukan pemantauan makroinvertebrata yang ada di ekosistem akuatik tersebut. Makroinvertebrata akuatik sebagai bioindikator, dapat memenuhi tujuan pemantauan kualitas air yang hakiki, yaitu: a) dapat memberikan petunjuk telah terjadi penurunan kualitas air, b) dapat digunakan untuk mengukur efektivitas tindakan penanggulangan pencemaran, c) dapat menunjukkan kecenderungan untuk memprediksi perubahan-perubahan yang mungkin terjadi pada waktu yang akan datang.

#### *a. Siklus Hidup Makroinvertebrata*

Kebanyakan makroinvertebrata mempunyai siklus hidup kurang dari setahun hingga satu tahun yang sehingga merupakan bahan studi yang sangat cocok untuk mengevaluasi kondisi badan air dalam jang waktu yang relatif singkat. Siklus hidup makroinvertebrata adalah proses kehidupan makroinvertebrata dari bentuk telur hingga menjadi hewan dewasa (US EPA, 2011).

### *b. Klasifikasi Makroinvertebrata*

Bentos adalah organisme yang hidupnya di dasar perairan yang dapat dibedakan menjadi dua golongan, yaitu fitobentos dan zoobentos. Berdasarkan ukurannya benthos dapat dibagi menjadi 4 jenis, yaitu: megalobenthos ( $>4,7$  mm); makrobentos (1,4 - 4,7 mm); meiobentos (0,5 - 1,3 mm) dan mikrobentos (0,15 - 0,5 mm). Sedangkan berdasarkan tempat hidupnya zoomakrobentos dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu epifauna, yang hidupnya di lapisan atas dasar perairan dan infauna, yang hidupnya di dalam substrat dasar perairan (Grahari, 2015). Hewan makroinvertebrata untuk indikator biologi pencemaran organik dibagi atas:

- a) Indikator air bersih: Ephemera, Ecdyonurus, Leuctra, Nemurella dan Perla.
- b) Indikator pencemaran ringan: Amphinemura, Ephemerella, Ceanis, Gammarus, Beatis, Valvata, Bhytynia, Hydropsyche, Limnodrius, Rhyacophyla dan Sericsotoma.
- c) Indikator pencemaran sedang: Asellus, Sialis, Limnease, Physa dan Sphaerium.
- d) Indikator pencemaran berat: Nais, Chironomous, Tubifex dan Eristalis. Klasifikasi dan karakteristik tiap makroinvertebrata dapat dilihat pada Tabel 3.2

### *5. Kupu-kupu Sebagai Bioindikator Kualitas Lingkungan Udara*

Untuk mengevaluasi kondisi lingkungan terestrial, kupu-kupu berpotensi sebagai bioindikator karena sensitif terhadap perubahan habitatnya (Swaay et al., 2012), menyukai area yang tidak terpolusi (Markert et al., 2003), menunjukkan respon terhadap gangguan lingkungan tertentu (Riva et al., 2018), dan dapat merefleksikan kondisi habitatnya. Dengan demikian kupu-kupu berpotensi sebagai bioindikator untuk

menggambarkan kondisi habitatnya sehingga dapat dijadikan sebagai data dasar dan masukkan dalam upaya pemantauan dan perumusan strategi konservasi lingkungan di kawasan perkotaan.

Dalam penentuan spesies kupu-kupu sebagai bioindikator dikaji dengan menganalisis keberadaan tiap-tiap spesies kupu-kupu dengan karakteristik lingkungan berbeda. Setiap spesies kupu-kupu merespon dinamika kondisi lingkungan di habitatnya dengan kemampuan adaptasi yang berbeda-beda sehingga memicu terbentuknya spesies kupu-kupu spesialis dan generalis (Kitahara *et al.*, 2000). Spesies generalis tidak memiliki keterkaitan kuat terhadap faktor-faktor lingkungan tertentu sehingga dapat ditemukan di berbagai tipe habitat. Sedangkan spesies spesialis adalah spesies yang memiliki keterkaitan kuat dan membutuhkan faktor-faktor lingkungan yang spesifik. Oleh karena itu, keberadaan spesies spesialis hanya terbatas di habitat-habitat tertentu sesuai dengan karakter habitat yang dibutuhkannya sehingga pengkategorian ini yang dijadikan sebagai dasar penentuan spesies kupu-kupu dijadikan sebagai bioindikator (Taradipha *et al.*, 2019).

Hasil analisis ordinasasi menunjukkan adanya keterkaitan yang kuat antara spesies kupu-kupu *P. demolius* dengan faktor lingkungan yang memiliki potensi gangguan tinggi. Faktor lingkungan tersebut adalah suhu dan intensitas cahaya yang tinggi, kelembapan udara rendah, dan merupakan jenis kupu-kupu specific kawasan industri. Tingkat kelimpahan yang tinggi dari jenis kupu-kupu ini mengindikasikan bahwa jenis ini hanya memiliki sedikit pemangsa (*predator*) dan pesaing (*kompetitor*), sehingga memiliki kesempatan lebih besar untuk memanfaatkan sumberdaya yang terbatas di habitatnya untuk hidup dan berkembangbiak secara optimal. Keseluruhan hasil penelitian menunjukkan bahwa kupu-kupu memperlihatkan bentuk-bentuk

bioindikasi yang memperkuat dugaan fungsi kupu-kupu sebagai bioindikator.

Pemanfaatan kupu-kupu sebagai bioindikator ditunjukkan oleh gambaran keberadaannya di suatu tipe habitat dengan berbagai karakteristik dan tipe gangguan lingkungan yang berbeda yang ditunjukkan dengan adanya perbedaan kelimpahan, kehadiran atau ketidakhadiran, dan sensitifitas respon kupu-kupu terhadap faktor-faktor lingkungan tertentu. Informasi mengenai keberadaan distribusi spesies kupu-kupu berdasarkan kondisi lingkungannya juga merupakan informasi yang penting dalam upaya penanggulangan penurunan kondisi lingkungan, karena keberadaan jenis-jenis tersebut dapat menjadi indikator untuk mengungkapkan kondisi lingkungan. Berdasarkan semua karakteristik bioekologis dan persyaratan umum penentuan jenis-jenis bioindikator, maka kupu-kupu *P. demoleus* dapat dikategorikan sebagai jenis bioindikator untuk habitat terganggu.

Beberapa mikroorganisme digunakan sebagai bioindikator untuk menilai dampak polutan pada seluruh sistem ekologi. Beberapa bioindikator termasuk protozoa, ikan, alga, makroinvertebrata dan mikroinvertebrata (Sharma *et al.*, 2011). Menurut Nesemann *et al.*, (1922), arthropoda adalah salah satu makroinvertebrata yang terlihat kelompok dasar laut yang mendominasi ditemukan di dasar laut. Dari semua makroinvertebrata lainnya, arthropoda merupakan bioindikator yang lebih dominan toleran terhadap polusi ekologis, diikuti oleh moluska dan annelida.

Menurut Holt dan Miller (2011), bioindikator adalah spesies, komunitas dan proses yang digunakan untuk menilai kualitas lingkungan dan mencatat perubahannya terjadi dalam ekosistem selama periode waktu. Umumnya, perubahan lingkungan sering saling berhubungan dan saling terkait dengan gangguan buatan manusia seperti polusi, kekeringan, perubahan iklim, dan lain sebagainya. Bioindikator ini

memperluas arena mereka ke semua jenis lingkungan seperti akuatik dan terestrial.

Studi sebelumnya mengklaim bahwa bioindikator berhasil menunjukkan kondisi tersebut lingkungan bersama dengan tingkat toleransi terhadap variabilitas lingkungan. Spesies atau indikator dengan toleransi rendah atau sempit bertindak sensitif terhadap perubahan yang terjadi pada ekosistem. Sebaliknya, indikator atau spesies dengan toleransi tinggi atau luas bertindak kurang peka terhadap perubahan yang terjadi di lingkungan yang mengganggu komunitasnya.

Sementara bioindikator menilai dampak polutan lingkungan secara kualitatif, biomonitor menentukan respons polutan secara kuantitatif. Oleh karena itu, fungsi utama bioindikator atau biomonitoring meliputi: (a) memantau atau menilai lingkungan; (b) memantau atau menilai proses ekologis; dan (c) memantau atau menilai keanekaragaman hayati. Dengan demikian, biomonitoring terletak pada inti ekosistem dan telah menjadi alat penting dan efektif untuk mempelajari paparan bahan kimia, pencemar, dan bahan berbahaya lainnya terhadap lingkungan. Studi biomonitoring mengukur tanggapan dan pemulihan komunitas organisme dari gangguan ekologis, pencemaran lingkungan, dan mengevaluasi hubungan antara fisik, kimia dan komponen biologis. Kesimpulannya, biomonitoring dan bioindikator kurang lebih sama dan karenanya dapat dipertukarkan dalam komunitas sains dengan sedikit perbedaan.

### **3.5 Biomarker**

#### **1. *Pengertian Biomarker***

*Biomarker* berasal dari kata *Bio* (hidup atau makhluk hidup) dan *marker* yang berarti *penanda*, sehingga *Biomarker* diartikan sebagai penanda makhluk hidup. Secara umum pengertian dari biomarker adalah indikator biologis yang di

peroleh dari unsur biologis tubuh yang dapat digunakan untuk menunjukkan adanya keterpaparan yang mengakibatkan timbulnya penyakit. *Biomarker* adalah semua zat, struktur, atau proses yang bisa diukur dalam tubuh atau produk-produk serta pengaruhnya atau memprediksikan kejadian dampak atau penyakit. *Biomarker* dapat dikelompokkan sebagai penanda keterpaparan, penanda efek, dan penanda kerentanan.

Jika biomarker diinginkan dapat berkontribusi bagi penilaian risiko kesehatan lingkungan dan kerja, maka biomarker-biomarker ini harus relevan dan absah. Relevansi menunjuk pada kesesuaian biomarker untuk memberikan informasi tentang pertanyaan-pertanyaan yang diinginkan, urgensi bagi otoritas kesehatan lingkungan dan masyarakat dan para pembuat keputusan lainnya. Penggunaan biomarker yang relevan memungkinkan para pembuat keputusan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan kesehatan masyarakat yang digunakan dalam penelitian atau penilaian risiko dengan cara yang berkontribusi informasi bermanfaat yang tidak bisa didapatkan secara lebih baik oleh pendekatan lain, seperti kuisioner, pengukuran lingkungan atau review catatan. Sebagai contoh, keterpaparan kronis terhadap organoklorin diindikasikan dengan lebih baik oleh kadar organoklorin serum dibanding dengan kajian-kajian lain atau pengukuran kesehatan industri, dan kerusakan ginjal dini bisa diindikasikan secara lebih baik oleh berbagai biomarker urin dibanding oleh catatan-catatan morbiditas.

Relevansi juga berkaitan dengan apakah pertanyaan-pertanyaan tentang biomarker mana yang bisa memberikan informasi, merupakan pertanyaan yang penting; bukan hanya pertanyaan yang bisa dijawab, tetapi yang harus dijawab. Dengan demikian, kemampuan untuk mengukur biomarker setelah keterpaparan terhadap sebuah toksikan tidak sama

pentingnya dengan pertanyaan seperti apakah individu yang terpapar toksikan tersebut berisiko meningkat untuk mengalami penyakit. Dalam konsep pemajanan, *biomarker* adalah bahan kimia, metabolisme, *susceptibility characteristics*, atau perubahan biologi dalam tubuh manusia atau kelompok risiko lainnya. Sedangkan pengertian secara umum, biomarker adalah “apa pun” (*anything*) yang dapat diukur dan dapat digunakan sebagai indikator atau parameter proses gangguan kejadian penyakit, ataupun masih dalam taraf respons fisiologis sebuah organisme.

**Tabel 3.1.** Jenis-jenis biomarker

| No  | Biomarker    | Jenis Keterpaparan | Bahan Periksa | Penyakit                                         |
|-----|--------------|--------------------|---------------|--------------------------------------------------|
| 1.  | Plumbum      | Polusi timbal      | Saliva,       | Keracunan Pb                                     |
| 2.  | Hydrargyrum  | Polusi Hg          | Darah, urine, | Keracunan Hg                                     |
| 3.  | Kadmium (Cd) | Polusi Cd, makanan | Feses, urine  | Gangguan pernafasan, edema emfisema paru         |
| 4.  | Alumunium    | Polusi Al          |               | Fibrosis paru                                    |
| 5.  | Barium (Ba)  | Polusi Ba          | Darah         | Iritasi perut, kerusakan hati                    |
| 6.  | Berilium     | Polusi Be          | Darah         | Kerusakan paru-                                  |
| 7.  | Besi (Fe)    | Polusi Fe          |               | Ginjal, hati,                                    |
| 8.  | Arsene (As)  | Polusi As, makanan | Darah         | Iritasi saluran makanan, luka di hati dan ginjal |
| 9.  | Kromium (Cr) | Polusi Cr          | Darah, urine  | Kanker paru-paru, kerusakan hati dan ginjal      |
| 10. | Kobalt (Co)  | Polusi Co,         | Darah,        | Anemia                                           |

| No  | Biomarker                | Jenis Keterpaparan                 | Bahan Periksa                    | Penyakit                                    |
|-----|--------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------|
| 11. | Nikel (Ni)               | Polusi Ni                          | Darah                            | Bronkitis kronis, serangan asma             |
| 12. | Selenium                 | Polusi Se                          | Darah,                           | Hogdkins, kanker                            |
| 13. | Cufum (Cu)               | Polusi Cu                          | Darah                            | Muntah-muntah, rasa panas di daerah lambung |
| 14. | Arsenic                  | Polusi                             | Rambut                           | Kelumpuhan, gangguan pencernaan             |
| 15. | Asam Nitrat              | Konstaminasi $\text{HNO}_3$        | Kulit, saluran pencernaan, darah | Keracunan $\text{HNO}_3$                    |
| 16. | Pestisida                | Cairan                             | Urine                            | Keracunan akut                              |
| 17. | Minyak Solar             | Pencemaran solar                   | Kulit, darah                     | Kanker kulit, keracunan, iritasi            |
| 18. | Asam Hidrochloric        | Kontaminasi HCL                    | Kulit, mata                      | Iritasi mata, bronchitis kronis             |
| 19. | Tembaga (Cu)             | Polusi Cu                          | Kulit, mata                      | Eksim pada kulit, konjungtifitas pada mata  |
| 20. | Metanol                  | Polusi                             | Kulit,                           | Iritasi                                     |
| 21. | Amonia ( $\text{NH}_3$ ) | Polusi $\text{NH}_3$               | Sluran pencernaan, kulit         | Keracunan $\text{NH}_3$                     |
| 22. | Asam Sulfat              | Pencemaran $\text{H}_2\text{SO}_4$ | Kulit, mata                      | Keracuna, iritasi                           |
| 23. | Avtur                    | Polusi                             | Kulit, mata                      | Iritasi saluran mata, gangguan              |
| 24. | Cotinine                 | Nicotine                           | Saliva,                          | Kanker paru                                 |
| 25. | DDE                      | DDT                                | Jaringan                         | Keracunan DDT                               |
| 26. | Aflatoxin                | Makanan                            | Cairan                           | Kanker hati                                 |

| No  | Biomarker                                         | Jenis<br>Keterpaparan                              | Bahan<br>Periksa                                                           | Penyakit                                                    |
|-----|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 27. | Kadmium<br>Oksida<br>(Cd)                         | Polusi<br>kadmium<br>(Inhalasi)                    | Mulut,<br>darah<br>dan<br>Sistem<br>Ekskresi<br>(Ginjal)                   | Kanker Prostat,<br>Cedera<br>Sel, Ginjal                    |
| 28. | Eksotoksin                                        | Makanan<br>Tercemar                                | Darah                                                                      | Gangguan Saluran<br>Pencernaan                              |
| 29. | Sianida<br>(HCN)                                  | Polusi<br>Sianida                                  | Inhalasi,<br>Kulit,<br>mulut<br>dan mata                                   | Paru-Paru dan<br>kerusakan pada<br>mata                     |
| 30. | Thalium                                           | Makanan<br>Tercemar                                | Kulit,<br>Mulut<br>Dan<br>darah                                            | Kerusakan Ginjal,<br>Perubahan Sisten<br>Fungsi<br>Endokrin |
| 31. | Bakteri<br><i>Clostridium</i><br><i>Botulinum</i> | Keracunan<br>Makanan<br>dan<br>Injeksi             | Sistem<br>Saraf                                                            | Botulisme                                                   |
| 32. | Chlor                                             | Inhalasi                                           | Paru-                                                                      | Edema Paru                                                  |
| 33. | Chrom                                             | Absorbsi<br>Melalui<br>Kulit,<br>Keracunan<br>Akut | Mulut,<br>Darah                                                            | Kerusakan Hati                                              |
| 34. | Amoniak<br>(NH <sub>3</sub> )                     | Polusi<br>Amoniak<br>(Inhalasi)                    | Paru-<br>paru,<br>Mata,<br>Inhalasi,G<br>astro<br>intestinal<br>(tertelan) | Edema Paru,<br>Pneumonia                                    |

| No  | Biomarker                           | Jenis Keterpaparan                               | Bahan Periksa             | Penyakit                                                      |
|-----|-------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 35. | Nikotin                             | Inhalasi dan Injeksi                             | Darah dan Urine           | Gangguan sistem Saraf Pusat                                   |
| 36. | Gas Karbon monoksida (CO)           | Polusi CO, Inhalasi                              | Pembuluh Darah, Paru-paru | Jantung, Stroke dan Kanker                                    |
| 37. | Bakteri Mycobacterium Tuberculosis  | Inhalasi, saluran Pernapasan                     | Dahak                     | Tuberkolosis Paru                                             |
| 38. | Plasmodium                          | Kulit                                            | Darah                     | Malaria                                                       |
| 39. | Karbon Tetraklorida                 | Polusi Karbon Tetraklorida Dan Keracunan Akut    | Inhalasi, Kulit, Mulut    | Kerusakan Sistem Saraf Pusat, Hati, Ginjal dan Pembuluh darah |
| 40. | Hydrogen sulfide (H <sub>2</sub> S) | Polusi H <sub>2</sub> S                          | Inhalasi                  | Infeksi saluran pernapasan                                    |
| 41. | Nitrogen oksida (NO)                | Polusi Nitrogen oksida (dari kendaraan bermotor) | Inhalasi                  | Infeksi saluran pernapasan, gangguan system saraf             |
| 42. | Hidrokarbon (HC)                    | Polusi Hidrokarbon (dari kendaraan bermotor)     | Inhalasi                  | Asma, gangguan hati, gangguan paru-paru, kanker               |
| 43. | Entamoeba histolytica               | Makanan                                          | Feses                     | Disentri                                                      |
| 44. | Asbes                               | Tercemar dalam air                               | Intestinal                | Asbestosis (keracunan asbes)                                  |

| <b>No</b> | <b>Biomarker</b>               | <b>Jenis<br/>Keterpaparan</b> | <b>Bahan<br/>Periksa</b>    | <b>Penyakit</b>                                 |
|-----------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------|
| 45.       | Bakteri Salmonella thyphosa    | Makanan                       | Darah, feses                | Tifoid                                          |
| 46.       | Bakteri Vibrio kolera          | Makanan                       | Feses                       | Kolera                                          |
| 47.       | Organofosfat                   | Pestisida                     | Inhalasi, kulit, intestinal | Keracunan organofosfat                          |
| 48.       | Karbamat                       | Pestisida, insektisida        | Inhalasi, kulit, intestinal | Keracunan karbamat                              |
| 49.       | Sakarin                        | Makanan                       | -                           | Kanker mukosa kandung kemih                     |
| 50.       | Siklomat                       | Makanan                       | -                           | Leukemia                                        |
| 51.       | Rhodamin B                     | Makanan                       | -                           | Kanker hati dan gangguan                        |
| 52.       | Boraks                         | Pestisida dan makanan         | -                           | Merusak fungsi hati, lemak, ginjal              |
| 53.       | Formalin                       | Makanan                       | -                           | Merusak hati, otak, jantung, system saraf pusat |
| 54.       | HIV                            | Injeksi, free sex, transmisi  | Darah                       | AIDS                                            |
| 55.       | Polychlorinated biphenyl (PCB) | Polusi PCB                    | Darah                       | Karsinogenik                                    |
| 56.       | Uranium                        | Polusi                        | Inhalasi                    | Karsinoma bronkus                               |
| 57.       | Vinil clorida                  | Polusi vinil                  | Inhalasi                    | Hepatotoksik                                    |

## 2. 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 subseluler hingga organisme utuh dan ekosistem. Efek di tingkat molekuler terjadi paling awal, diikuti oleh tanggapan seluler (biokimia), jaringan atau 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).

### 3. *Jenis-jenis Biomarker*

Menurut Ghosh *et al.*, (2015); 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. 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, 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.

### 4. *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 toksikologinya dipahami: 1. siklus kimia dan atau

metabolitnya di dalam tubuh (*toxicokinetics*); 2. mekanisme penyakit atau efek buruk (*toxicodynamics*); 3. cara faktor individual mempromosikan bahan kimia untuk menyebabkan penyakit atau 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 dosis respons. Ada banyak variabel 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).

#### 5. *Kriteria Biomarker*

Biomarker yang praktis dan berhasil harus memenuhi sejumlah kriteria, yaitu: 1. Memberikan tanggapan yang cukup sensitif untuk mendeteksi tahap awal dari proses toksisitas dan harus mendahului efek pada organisasi biologis tingkat tinggi. 2. Spesifik untuk kontaminan tertentu atau untuk kelas kontaminan tertentu. 3. 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.

### 3.6 Metode Biomonitoring

Biomonitoring meliputi analisis terhadap bioakumulasi, biotoksitas dan biomarker (Zhou, *et al.*, 2008). Secara umum istilah biomonitoring dipakai sebagai alat atau cara yang penting dan merupakan metode baru untuk menilai suatu dampak pencemaran lingkungan (Mukono, 2006). Menurut Giasi (2015) keberadaan biota-biota di suatu lingkungan dapat menentukan kualitas lingkungan tersebut baik atau tidak. Data biologi lebih berkaitan langsung dengan kondisi ekologi atau kesehatan lingkungan daripada data kimia, karena karakter biota seperti keberadaan jenis atau kelimpahannya dapat menjadi petunjuk adanya perubahan status atau kondisi suatu lingkungan.

Pada dasarnya indeks biotik merupakan nilai dalam bentuk *scoring* yang dibuat atas dasar tingkat toleransi organisme terhadap pencemaran. Indeks tersebut juga memperhitungkan keanekaragaman organisme dengan mempertimbangkan kelompok-kelompok tertentu dalam kaitannya dengan tingkat pencemaran (Grahari, 2015). Berbagai jenis indeks biotik telah dibuat untuk analisis berbagai jenis indikator biologi yang digunakan secara luas. Indeks biotik memberi nilai kepada suatu spesies berdasarkan tahap toleransi spesies tersebut terhadap pencemaran, dimana jumlah nilai yang diperoleh memberi indeks pencemaran kawasan tersebut (Grahari, 2015). Metode yang digunakan untuk menentukan kualitas air berdasarkan makroinvertebrata adalah indeks biotik, yaitu *Extended Trent Biotik Index* (ETBI), *Belgian Biological Index* (BBI), *Biological Monitoring Working Party* (BMWP), *Biological Monitoring Working Party Average Score Per Taxon* (BMWP ASPT), dan *Index Diversitas*.

#### 1. *Index Biotik*

*Indeks biotik* adalah ekspresi numerik yang mengklasifikasikan kualitas air berdasarkan kepekaan ekologis taksa dari keberadaan dan keanekaragaman taksa tersebut. Banyak indeks biotik ditentukan berdasarkan

makroinvertebrata, karena mereka menempati peran sentral dalam ekosistem perairan dengan berpartisipasi dalam dekomposisi bahan organik dan dengan mendasari sumber makanan utama bagi biota air lainnya yaitu invertebrata, ikan, dan beberapa burung (Zeybek dkk, 2014). Menurut Lestari (2011) metode *Belgian Biological Index* (BBI) mempunyai skala kualitas air dari tercemar kecil sampai sangat tercemar, sehingga metode ini banyak digunakan. Duran (2006) menyatakan metode BMWP ASPT, BMWP dan BBI mudah digunakan dan sudah digunakan secara luas pada masa lalu. Metode Biological Monitoring Working Party Average Score Per Taxon (BMWP ASPT) hampir sama dengan metode BMWP. Perbedaan metode BMWP ASPT skor yang didapat dirata-rata. Skor untuk metode BMWP ASPT menggunakan Modified BMWP Score System seperti pada Tabel 3.2. hal ini digunakan untuk membandingkan skor sebelum dan sesudah dimodifikasi. Nilai indeks pada BMWP ASPT antara 1- 10.

**Tabel 3.2.** Index Biotik Metode BMWP ASPT

| <b>Famili</b>                                                    | <b>Score</b> |
|------------------------------------------------------------------|--------------|
| Siphonuridae, Heptageniidae, Leptophlebiidae<br>Ephemerellidae   |              |
| Potamanthidae, Ephemeridae                                       |              |
| Taeniopterygidae, Leuctridae, Capniidae, Perlodidae,<br>Perlidae |              |
| Choloroperlidae                                                  | 10           |
| Aphelocheiridae                                                  |              |
| Phryganidae, Molannidae, Beraeidae, Odontoceridae                |              |
| Leptoceridae, Goeridae, Lepidostomatidae,<br>Brachycentridae     |              |
| Sericostomatidae                                                 |              |
| Astacidae                                                        |              |
| Lestidae, Agriidae, Gomphidae, Cordulegateridae,                 | 8            |

|                                                             |   |
|-------------------------------------------------------------|---|
| Aeshnidae                                                   |   |
| Corduliidae, Libellulidae                                   |   |
| Psychomyiidae, Philopotamidae                               |   |
| Caenidae                                                    |   |
| Nemouridae                                                  | 7 |
| Rhyacophilidae, Polycentropodidae, Limnephilidae            |   |
| Neritidae, Viviparidae, Ancyliidae                          |   |
| Hydroptilidae                                               |   |
| Unionidae                                                   | 6 |
| Corophiidae, Gammaridae                                     |   |
| Platycenemididae, Coenagriidae                              |   |
| Mesoveliidae, Hydrometridae, Gerridae, Nepidae, Naucoridae  |   |
| Notonectidae, Pleidae, Corixidae                            |   |
| Haliplidae, Hygrobiidae, Dytiscidae, Gyrinidae              |   |
| Hydrophilidae, Clambidae, Helodidae, Drypidae, Eliminthidae | 5 |
| Chrysomelidae, Curculionidae                                |   |
| Hydropsychidae                                              |   |
| Tipulidae, Simuliidae                                       |   |
| Planariidae, Dendrocoelidae                                 |   |
| Baetidae                                                    |   |
| Sialidae                                                    | 4 |
| Piscicolidae                                                |   |
| Valvatidae, Hydrobiidae, Lymnaeidae, Physidae               |   |
| Planorbidae                                                 |   |
| Sphaeriidae                                                 | 3 |
| Glossiphoniidae, Hirudidae, Eropobdellidae                  |   |
| Asellidae                                                   |   |
| Chironomidae                                                | 2 |
| Oligochaeta (semua Kelas)                                   | 1 |

*Sumber:* (Lestari, 2011)

## 2. *Famili Biotik Indeks (FBI)*

Tahap terakhir dalam monitoring kualitas air adalah menganalisis data yang telah dikumpulkan untuk mendapatkan suatu nilai kuantitatif atau indeks. Indeks indikator kualitas air dapat dihitung dengan beberapa cara, mulai dari cara yang sederhana hingga yang rumit. Analisis data yang dilakukan dalam biomonitoring kualitas air dengan metode Family Biotic Index (FBI). FBI adalah penghitungan indeks kualitas air yang dikembangkan oleh Hinsenhoff (1988) berdasarkan nilai toleransi (ketahanan terhadap perubahan lingkungan) dari tiap-tiap famili (Subekti Rahayu *et al.*, 2009). Menurut Arisandi (2012), perhitungan nilai indeks biotik makroinvertebrata bentik dengan *Modified Family Biotic Index* (FBI) telah banyak digunakan untuk mengindikasikan tingkat pencemaran organik di perairan, dimana tiap famili makroinvertebrata memiliki skor tertentu yang menunjukkan tingkat toleransi terhadap pencemar organik. Menurut Arisandi (2012) perhitungan nilai indeks biotik menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{FBI} = \frac{\sum (i-1) \cdot Z_i \cdot t_i}{N}$$

Keterangan:

FBI = nilai indeks makroinvertebrata bentik

I = urutan kelompok familia yang menyusun komunitas makroinvertebrata

$x_i$  = jumlah individu kelompok famili ke- $i$

$t_i$  = tingkat toleransi kelompok famili ke- $i$

$N$  = jumlah seluruh individu yang menyusun komunitas makroinvertebrata.

Interpretasi nilai biotik indeks untuk menentukan kualitas air dilakukan dengan mengikuti ketentuan yang sudah ada:

**Tabel 3.3.** Klasifikasi kualitas air berdasarkan *Famili Biotik Indeks*

| <b>Famili Biotk Indeks</b> | <b>Kualitas Air</b> | <b>Tingkat Pencemaran</b>        |
|----------------------------|---------------------|----------------------------------|
| 0,00 - 3,75                | Sangat baik         | Tidak terpolusi bahan organik    |
| 3,76 - 4,25                | Baik sekali         | Sedikit terpolusi bahan organik  |
| 4,26 - 5,00                | Baik                | Terpolusi beberapa bahan organik |
| 5,01 - 5,75                | Cukup               | Terpolusi agak banyak            |
| 5,76 - 6,50                | Agak buruk          | Terpolusi banyak                 |
| 6,51 - 7,25                | Buruk               | Terpolusi sangat banyak          |
| 7,26 - 10,00               | Buruk sekali        | Terpolusi berat bahan organik    |

*Sumber:* Hilsenhoff (1988)

Metode FBI mampu menilai tingkat pencemaran Sungai. Menurut Mardiani (2012) apabila terdapat bahan pencemar dalam perairan, maka biota yang sangat peka akan hilang karena tidak mampu bertahan hidup. Sebaliknya biota yang sangat toleran, akan tetap dapat hidup pada kualitas air yang buruk. Setiap stasiun memiliki makroinvertebrata yang mendominasi keberadaannya, sehingga terlihat biota yang toleran terhadap kualitas air yang buruk atau tidak.

3. *Biological Monitoring Working Party Average Score Per Taxon* (BMWP ASPT).

Biomonitoring dengan metode *Biological Monitoring Working Party Average Score Per Taxon* (BMWP ASPT). BMWP ASPT adalah ekspresi numerik yang mengklasifikasikan kualitas air berdasarkan kepekaan 3 taksa ekologis dari keberadaan dan keanekaragaman taksa tersebut (Zeybek *et al.*, 2014). Metode biomonitoring ini cepat, murah, peralatan yang digunakan lebih sederhana dan mudah dalam pengambilan sampel. Masyarakat umum dapat berpartisipasi untuk memantau kebersihan saluran dan lingkungan di sekitar saluran. Sehingga penentuan

kualitas air menggunakan makroinvertebrata dapat dilakukan sebagai solusi permasalahan kualitas air bersih.

Kualitas air sungai dapat ditentukan dengan menggunakan parameter fisik, kimia dan biologi. Pemantauan terhadap kualitas air sungai sangat dibutuhkan untuk mengetahui seberapa besar tingkat pencemaran air yang terjadi dan sebagai bahan evaluasi dalam pengendalian kualitas perairan. Menurut Mariantika dkk (2014) kualitas air perlu selalu dipantau, dengan meninjau parameter fisikokimia dan biologi suatu ekosistem perairan. Salah satu parameter biologi yang dapat digunakan sebagai bioindikator kualitas air adalah makroinvertebrata bentos, karena dapat memberikan gambaran mengenai kondisi fisik, kimia dan biologi perairan yang menjadi habitatnya.

Untuk melengkapi data biomonitoring dapat ditambahkan data parameter fisik kimia lingkungan. Analisis kimiawi dilakukan untuk mengetahui kualitas air dengan parameter berupa suhu, kekeruhan, pH, DO, BOD, amonium, dan fosfat. Dalam analisis fisik-kimia antara lain dengan menggunakan metode *LISEC Score* dan *Dutch Score*. Metode *Lisec Score* menggunakan parameter DO, BOD, ammonium, dan fosfat sedangkan metode *Dutch Score* menggunakan parameter DO, BOD, dan amonium. Metode *Lisec Score* merupakan perkembangan dari metode *Dutch Score*. Analisis kualitas air dengan metode *LISEC Score* menghubungkan parameter kimiawi dan biologis untuk penentuan kualitas air. Metode *LISEC Score* adalah modifikasi metode *Dutch Score*. Parameter yang digunakan tidak jauh berbeda dengan metode *Dutch Score* yaitu BOD, DO saturasi dan amonium. Perbedaan metode *LISEC Score* dengan *Dutch Score* terletak pada penambahan parameter yang digunakan dalam analisis data yaitu kadar fosfat dalam air. Klasifikasi data untuk metode *Lisec Score* seperti pada Tabel 3.4.

**Tabel 3.4.** Klasisifikasi Data untuk Metode *Lisec Score*

| Skor | % DO Saturasi   | BOD<br>(mg/l) | Amonium<br>(mg/l) | Fosfat<br>(mg/l) |
|------|-----------------|---------------|-------------------|------------------|
| 1    | 91-110          | <3            | <0,5              | <0,05            |
| 2    | 71-90; 111- 120 | 3,1-6,0       | 0,5-1,0           | 0,05-0,25        |
| 3    | 51-70; 121- 130 | 6,1-9,0       | 1,1-2,0           | 0,25-0,90        |
| 4    | 31-50; 131- 150 | 9,1-15,0      | 2,1-5,0           | 0,90-1,5         |
| 5    | <30, >50        | >15,0         | >5,0              | >1,5             |

*Sumber:* Trihadiningrum (1995, dalam Hakim, 2012)

Hasil yang didapatkan dari klasifikasi data kemudian dihitung dengan persamaan:

$$\text{Indeks LISEC} = \sum q_i$$

Dimana:  $q_i$  = nilai untuk variabel ke- $i$

Hasil perhitungan indeks LISEC kemudian di interpretasikan dalam Tabel 3.5.

**Tabel 3.5.** Interpretasi LISEC Score

| Kelas | Skor    | Kualitas air    |
|-------|---------|-----------------|
| I     | 4 - 6   | Sangat baik     |
| II    | 6 - 10  | Baik            |
| III   | 10 - 14 | Sedang          |
| IV    | 14 - 18 | Tercemar        |
| V     | 18 - 20 | Sangat tercemar |

*Sumber:* Trihadingrum (1995 dalam Hakim, 2012)

Metode *Dutch Score* mempunyai prinsip perhitungan yang sama dengan *Lisec Score*. Perbedaan dua metode ini adalah parameter yang digunakan Dutch Score tidak melibatkan fosfat. Klasifikasi data untuk metode Dutch Score seperti pada Tabel 3.6.

**Tabel 3.6.** Klasifikasi Data untuk Metode Dutch Score

| Skor | %DO Saturasi    | BOD<br>(mg/l) | Amonium<br>(mg/l) |
|------|-----------------|---------------|-------------------|
| 1    | 91-110          | <3            | <0,5              |
| 2    | 71-90; 111- 120 | 3,1-6,0       | 0,5-1,0           |
| 3    | 51-70; 121- 130 | 6,1-9,0       | 1,1-2,0           |
| 4    | 31-50; 131- 150 | 9,1-15,0      | 2,1-5,0           |
| 5    | <30, >50        | >15,0         | >5,0              |

*Sumber:* Trihadiningrum (1995 dalam Hakim, 2012)

Hasil yang didapatkan dari klasifikasi data kemudian dihitung dengan persamaan:

**Indeks Dutch Score =  $\Sigma q_i$**

Dimana:  $q_i$  = nilai untuk variabel ke-i

Hasil perhitungan indeks Dutch Score kemudian diinterpretasikan dalam Tabel 3.7.

**Tabel 3.7.** Interpretasi Dutch Score

| Kelas | Skor        | Kualitas air    |
|-------|-------------|-----------------|
| I     | 3,0 - 4,5   | Sangat baik     |
| II    | 4,6 - 7,5   | Baik            |
| III   | 7,6 - 10,5  | Sedang          |
| IV    | 10,6 - 13,5 | Tercemar        |
| V     | 13,6 - 15,0 | Sangat tercemar |

*Sumber:* Trihadingrum (1995 dalam Hakim, 2012)

#### 4. Time Series

*Time series* adalah serangkaian pengamatan terhadap suatu variabel yang dilakukan dari waktu ke waktu dan dicatat secara berurutan sesuai dengan waktu kejadiannya dengan interval waktu yang tetap (Wei, 2006). Menurut Cryer (1986, dalam Perdana, 2010), *time series* diartikan sebagai serangkaian data yang didapat berdasarkan pengamatan dari

suatu kejadian pada urutan waktu terjadinya. Secara umum data harus horizontal sepanjang sumbu waktu. Keuntungan penggunaan time series, akan diperoleh gambaran yang menyeluruh tentang kualitas lingkungan dari waktu ke waktu sehingga lebih mudah dalam pengambilan kebijakan untuk pengelolaannya.

Semua jenis metode mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing. Kelebihan dan kekurangan ini dapat dimanfaatkan untuk melengkapi satu sama lain. Berikut merupakan kelebihan dan kekurangan metode kimiawi dan biologi.

**Tabel 3.8.** Kelebihan Metode Kimia dan Biologi

| <b>No</b> | <b>Metode Kimia</b>                                                    | <b>Metode Biologi</b>                                  |
|-----------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 1         | hasil yang didapatkan sudah mencakup data pencemar yang ada di lokasi. | Cepat dalam pengambilan sampel                         |
| 2         | dapat dilakukan lebih sering                                           | biaya yang dibutuhkan terjangkau                       |
| 3         |                                                                        | peralatan yang digunakan mudah didapat                 |
| 4         |                                                                        | pengambilan sampelnya tidak memerlukan keahlian khusus |

**Tabel 3.9. Kekurangan Metode Kimia dan Biologi**

| <b>No</b> | <b>Metode Kimia</b>                                 | <b>Metode Biologi</b>                                                   |
|-----------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 1         | Dibutuhkan peralatan khusus                         | Rentang waktu yang dibutuhkan untuk penelitian di tempat yang sama lama |
| 2         | Biaya yang dibutuhkan tinggi                        | Tidak dapat mengidentifikasi bahan pencemar di lokasi                   |
| 3         | Dibutuhkan keahlian khusus dalam pengambilan sampel |                                                                         |

## DAFTAR PUSTAKA

- Abrori Amin, Tarzan Purnomo.2021. Biomonitoring Kualitas Perairan Pesisir Pantai Lembung, Pamekasan Menggunakan Bioindikator Fitoplankton. *LenteraBio*, 2021; Volume 10, Nomor 1: 106-114 <https://journal.unesa.ac.id/index.php/lenterabio/index>.
- Apridar, 2010. *Ekonomi Kelautan*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Alexander D.E. 1999. Bioaccumulation, bioconcentration, biomagnification. In: *Environmental Geology. Encyclopedia of Earth Science*. Springer,
- Bengen DG, 2001. *Sinopsis Ekosistem dan Sumberdaya Alam Pesisir dan Laut*. Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan. Institut Pertanian Bogor.
- 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.
- 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).

- Dubois, J., & Cheptou, P. O. 2017. Effects of Fragmentation on Plant Adaptation to Urban Environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 372, 1–8. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0038>
- Duran, M. 2006. Monitoring Water Quality Using Benthic Macroinvertebrates and Physicochemical Parameters of Behzat Stream in Turkey. *Polish J. Environ. Study Volume 15 No 5 Halaman 709-717*
- Edwards M, Helaouet P, Alhaija RA, Batten S, Beaugrand G, Chiba S, 2016. Global Marine Ecological Status Report: Results from the Global CPR Survey 2014/2015. SAHFOS Technical Report, 11, 1–32. Plymouth.
- Grahari, ET. 2015. Kesesuaian antara Pemeriksaan Kualitas Air Metode Kimiawi dengan Metode Extended Trent Biotik Index terhadap Air Sungai Kaliwonokromo Surabaya. Tugas Akhir
- Hakim, Ayu RW., Yulinah T. 2012. Studi Kualitas Air Sungai Brantas Berdasarkan Makroinvertebrata. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*. Vol 1(1):1-6
- H. J. Mukono. 2006. Prinsip Dasar kesehatan Lingkungan. Surabaya: Airlangga University Press.
- Holt, E. & Miller, S. 2011. Bioindicators: Using Organisms to Measure.
- Hutabarat, 2014. Struktur Komunitas Plankton Pada Padang Lamun di Pantai Pulau Panjang, Jepara. *Diponegoro Journal of Maquares Management of Aquatic Resources* Vol. 3 No. 2.
- Ives, A. R, J.L. Klug, and K.Gross. 1999. Stability and Variability in Competitive Communities. *Journal of Sciences* Vol: 286. Iss:5439

- Juliantara, K. 2011. Lintah (*Hirudo medicinalis*) sebagai bioindikator pencemaran lingkungan perairan tawar. Retrieved from [http:// www.kompasiana.com/lintah-Hirudomedicinalis](http://www.kompasiana.com/lintah-Hirudomedicinalis) sebagai Bioindikator Pencemaran Lingkungan Perairan Tawar Komarawidjaja, W. & Titiresmi, T. (2006). Teknik biomonitoring sebagai alternatif “tool” pemantauan kualitas lingkungan perairan. J.Tek.Ling, 2006, 144-147.
- Kitahara, M., Sei, K., & Fujii, K. 2000. Patterns in the Structure of Grassland Butterfly Communities Along a Gradient of Human Disturbance: Further Analysis based on the Generalist or Specialist Concept. *Population Ecology*, 42, 135-144.
- Komarawidjaja, W. & Titiresmi, T. 2006. Teknik biomonitoring sebagai alternatif “tool” pemantauan kualitas lingkungan perairan. J.Tek.Ling, 2006, 144-147.
- Kovacs, M. 1992. Biological Indicator of Environmental Pollution in Kovacs, M (ed) *Biological Indicator in Environment Protection*.
- Lestari, Iin Winda. 2011. Bioassessment Kualitas Air Sungai Rejoso di Kecamatan Rejoso Pasuruan dengan Makroinvertebrata. Tugas Akhir.
- Lintang Rina K., Mustofa N. S., dan Suryanti. 2012. Kondisi Perairan Berdasarkan Bioindikator Makrobentos Di Sungai Seketak Tembalang Kota Semarang. *Jurnal Of Management Of Aquatic Resources* (Online), Vol. I, No.1, (<http://download.portalgaruda.org>, Diunduh tanggal 16 Februari 2014)
- Lindstrom E, Gunn J, Fischer A, McCurd A, and Glover LK, 2012. A Framework for Ocean Observing. By the Task Team for an Integrated Framework for Sustained Ocean Observing. Paris: UNESCO. Elsevier, New York.

- Mariantika, Lina., Catur R. 2014. Perubahan Struktur Komunitas Makroinvertebrata Bentos Akibat Aktivitas Manusia di Sungai Mata Air Sumber Awan Kecamatan Singosari Kabupaten Malang. *Jurnal Biontropika*. Vol 2(5)
- Mukono, H. 2006. *Prinsip Dasar Kesehatan Lingkungan*. Surabaya: Airlangga University Press
- 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)).
- Nesemann H, Sharma G, Sinha R. Benthic macro-invertebrate fauna and" marine elements" sensu Annandale. 1922. Highlight the valuable dolphin habitat of river Ganga in Bihar-India. *TAPROBANICA: The Journal of Asian Biodiversity*; 2011
- Nichols E, Larsenb T, Spector S, Davise AL, Escobar F, Favilad M. 2007. Global dung beetle response to tropical forest modification and fragmentation: a quantitative literature review and meta-analysis. *Biological Conservation*.137:1-19
- Peraturan Pemerintahan Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. 2002. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.
- Prigi Arisandi. 2012. Studi Kualitas Air Sungai Bone dengan Metode Biomonitori (Online), Prosiding Seminar Nasional Kimia Unesa 2012, ([http://fmipa.unesa.ac.id/kimia/wpcontent/uploads/2013/11/298-309- Prigi-Arisandi.pdf](http://fmipa.unesa.ac.id/kimia/wpcontent/uploads/2013/11/298-309-Prigi-Arisandi.pdf), Diunduh 31 Januari 2014).
- Rahayu, Rudy, Meine, Indra, dan Bruno. 2009. *Monitoring Air di Daerah Aliran Sungai*. Bogor : World Agroforestry Centre
- Rasadari, S., Gunawardana, R., Chathuranga, N., & Guruge, T. (2018). *Krumithuru Insects of Srilanka*. Srilanka: Butterfly Conservation Society of Sri Lanka.

- Riaz, S., Johnson, J. B., Rasheed, T., & Wiemers, M. 2020. Morphology, Life Cycle and Management of Two Invasive Subspecies of *Papilio demoleus* (Lepidoptera: Papilionidae): A Review. *Journal of Applied Entomology*, 144, 845–856.
- Riva, F., Acorn, J. H., & Nielsen, S. E. 2018. Localized Disturbances from Oil Sands Developments Increase Butterfly Diversity and Abundance in Alberta's Boreal Forests. *Biological Conservation*, 217, 173–180.
- Sanjaya, Y., Suhara, S., & Rochmayanti, Y. 2016. Role of Plant Diversity to Existence of Butterfly in Botanical Garden UPI Bandung Indonesia. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 4, 331–335.
- 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.
- Sharma K, Chowdhary S. Macroinvertebrate assemblages as biological indicators of pollution in a Central Himalayan River, Tawi (JK). *International Journal of Biodiversity and Conservation*. 2011;3:167-174
- Silalahi, Juliana. 2010. Analisis Kualitas Air dan Hubungannya dengan Keanekaragaman Vegetasi Akuatik di Perairan Balige Danau Toba. Universitas Sumatra Utara. Medan
- Siva Devi Azahra. 2021. POTENSI JENIS KUPU-KUPU SEBAGAI BIOINDIKATOR KONDISI LINGKUNGAN KAWASAN PERKOTAAN. Gunung Djati Conference Series, Volume 6 (2021) Seminar Nasional Biologi (SEMABIO) 6 Tahun 2021 ISSN: 2774-6585 <https://conference.uinsgd.ac.id/index.php>.

- Smetacek, P. 2012. Butterflies (Lepidoptera: Papilionoidea and Hesperoidea) and other Protected Gauna of Jones Estate, a Dying Watershed in the Kumaon Himalaya, Uttarakhand, India. *Journal of Threatened Taxa*, 4, 2857–2874. <https://doi.org/10.11609/jott.o3020.2857-74>
- Soga, M., & Koike, S. 2012. Life-History Traits Affect Vulnerability of Butterflies to Habitat Fragmentation in Urban Remnant Forests. *Ecoscience*, 19, 11–20. <https://doi.org/10.2980/19-1-3455>
- Sommaggio, D., & Burgio, G. (2014). The Use of Syrphidae as Functional Gunung Djati Conference Series, Volume 6 (2021) Seminar Nasional Biologi (SEMABIO) 6 tahun 2021 ISSN: 2774-6585 <https://conference.uinsgd.ac.id/index.php/> Copyright © 2021 The Authors. Published by Gunung Djati Conference Series This is open access article distributed under the CC BY 4.0 license - <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0> 110
- Bioindicator to Compare Vineyards with Different Managements. *Bulletin of Insectology*, 67, 147–156.
- Spitzer, K., Jaros, J., Havelka, J., & Leps, J. 1997. Effect of Small-Scale Disturbance on Butterfly Communities of an Indochinese Montane Forest. *Biological Conservation*, 1, 9–15.
- Subekti Rahayu, Rudi Harta Widodo, Meine van Noordwijk, Indra Suryadi, dan Bruno Verbist. 2009. *Monitoring Air Di Daerah Aliran Sungai*. Bogor: World Agroforestry Centre.
- Swaay, C. van, Brereton, T., Kirkland, P., & Warren, M. 2012. *Manual for Butterfly Monitoring*. Wageningen: Butterfly Conservation UK & Butterfly Conservation Europe.
- Taradipha, M. R. R., Rushayati, S. B., & Haneda, N. F. 2019. Karakteristik Lingkungan terhadap Komunitas Serangga. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 9, 394–404.

- Thomas, J. A. 2005. Monitoring Change in the Abundance and Distribution of Insects Using Butterflies and other Indicator Groups. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360, 339–357. <https://doi.org/10.1098/rstb.2004.1585>.
- Welch P S, 1952. *Limnology*, 2nd edition. New York: McGraw-Hill. 538p.
- 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.

# **BAB 4**

## **INSTRUMEN ANALISIS KUALITAS LINGKUNGAN**

*Oleh Bambang Suhartawan*

### **4.1 Pengertian Instrumen**

Instrumen dapat didefinisikan sebagai suatu alat yang digunakan untuk mengukur fenomena alam atau fenomena sosial yang sedang diamati. Dalam penelitian instrument merupakan alat untuk mengumpulkan data yang merupakan variable dalam penelitian. Instrumen sebagai alat ukur sebelum digunakan perlu dilakukan kalibrasi atau divalidasi terlebih dahulu sehingga hasilnya berupa data yang benar dan dapat dipercaya (valid).

### **4.2 Instrumen Analisis Kualitas Air**

Pengambilan sampel air yang akan diuji kualitasnya harus menggunakan metode pengambilan sampel yang benar. Metode pengambilan sampel air untuk keperluan pemeriksaan kualitasnya sesuai persyaratan dan tata cara pengambilan sampel. Jenis parameter yang akan diuji meliputi parameter fisika, kimia dan biologi.

Ada beberapa pengertian terkait dengan penerapan metode pengukuran kualitas air, yaitu:

1. Air yang akan diuji kualitasnya tergolong air permukaan, air tanah dan air hujan.
2. Beberapa jenis air permukaan meliputi : air sungai, air danau, dan air waduk.

3. Air tanah adalah air yang berada pada lapisan pembawa air di dalam tanah (akifer) yang bersifat kedap air dan memiliki permukaan bebas.
4. Air meteorik adalah air yang ditampung dari air hujan baik langsung maupun tidak langsung.

Agar diperoleh hasil pengukuran kualitas air yang lebih baik dan valid sangat diperlukan peralatan dan bahan-bahan yang diperlukan dalam pengambilan sampel dan pengujian:

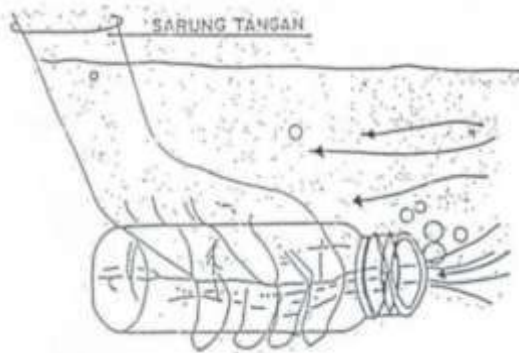
#### **4.2.1 Pengambilan sampel air**

Beberapa persyaratan peralatan pengambilan sampel air :

1. Terbuat dari bahan yang tidak mempengaruhi sifat sampel ;
2. Mudah dibersihkan dari sisa-sisa sampel sebelumnya;
3. Tabung sampel mampu menampung minimal 1 liter sampel air;
4. Mudah dan aman untuk dibawa.

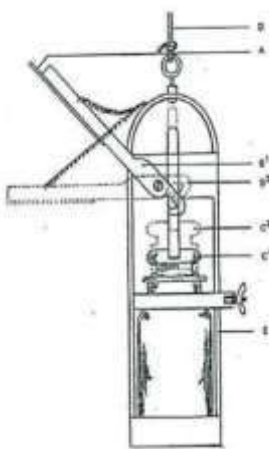
Beberapa peralatan pengambilan sampel air yang biasa digunakan dalam analisis kualitas air:

1. Botol plastik (pengambilan secara langsung)



**Gambar 4.1.** Pengambilan sampel air secara langsung

2. Botol biasa dengan pemberat



- A Pengikat
- B1 Pengungkit pada kondisi tertutup
- B2 Pengungkit pada kondisi terbuka
- C1 Tutup wadah sampel pada kondisi tertutup
- C2 Tutup wadah sampel pada kondisi terbuka
- D Tali penggantung
- E Rangka logam wadah sampel

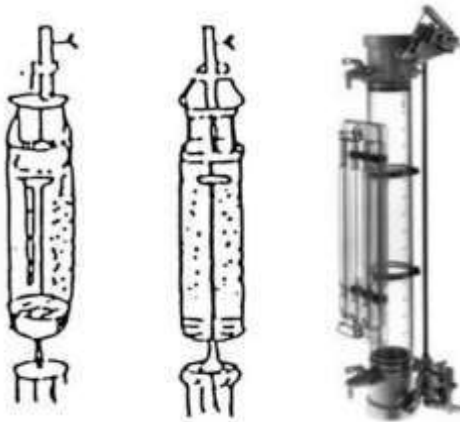
**Gambar 4.2.** Alat Pengambilan sampel dengan pemberat

3. Alat pengambilan air model *Wohlenberg*



**Gambar 4.3.** Alat pengambilan air model *Wohlenberg*

4. Alat pengambilan sampel model tegak (*ruttner*)



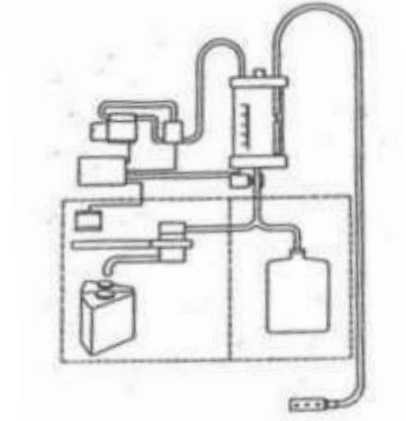
**Gambar 4.4.** Alat pengambilan sampel air tipe tegak (*ruttner*)

5. Alat pengambilan air tipe kedalaman terpadu (*Integrated Depth Sampler – USDH*)



**Gambar 4.5.** Alat pengambilan sampel air tipe kedalaman terpadu

## 6. Alat pengambilan sample air tipe otomatis



**Gambar 4.6.** Alat pengambilan sampel tipe otomatis

### 4.2.2 Pengujian sampel air

Semua makhluk hidup memerlukan air yang sesuai keperuntukannya. Kebutuhan air untuk manusia, hewan dan tumbuhan berbeda kualitasnya. Alat ukur untuk mengetahui kualitas air dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis parameter, yaitu :

#### 1. Parameter Biologi

##### a. Bogorov Troy

Alat ini merupakan mikroskop binokuler yang dipergunakan untuk mengukur jumlah plankton dalam air. Alat ini memberikan perbesaran hingga 40 kali.



**Gambar 4.7.** Bogorov Troy

b. Plankton Net

Plankton net merupakan jaring berbentuk kerucut dan terbuat dari nilon yang dipergunakan untuk mendapatkan plankton dalam air.



**Gambar 4.8.** Plankton Net

c. Haemocytometer

Alat ini merupakan mikroskop dengan perbesaran hingga 100 kali yang digunakan untuk mengamati adanya plankton yang sangat kecil (mikroskopik) dalam air.



**Gambar 4.9.** Haemocytometer

d. Sedgwick Rafter Cell

Sedgwick Rafter Cell merupakan mikroskop dengan perbesaran hingga 100 kali digunakan untuk mengamati phytoplankton dan microzooplankton dalam air.



**Gambar 4.10.** Sedgwick Rafter Cell

e. Jala Surber

Jala surber adalah merupakan jaring yang memiliki ukuran 25 cm x 40 cm dengan lebar mata jaring sebesar 1 mm dan memiliki luas permukaan 1.200 cm<sup>2</sup>.

Alat ini dipergunakan untuk mengambil sampel (bentos) dalam aliran air yang deras dan permukaan dasar pasir halus.



**Gambar 4.11.** Jala Surber

f. Petersen Grab

Lat ini dipergunakan untuk mengambil sampel lumpur dalam laut dengan kedalaman tertentu.



**Gambar 4.12.** Petersen Grab

g. Eckman Grab

Alat yang terbuat dari stainless steel yang dipergunakan untuk mengambil sampel bentos dalam lumpur pada dasar sungai atau laut.



**Gambar 4.13.** Eckman Grab

h. Ponar Grab

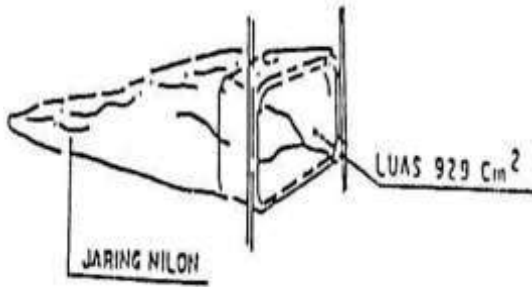
Alat ini terbuat dari stainless steel yang dipergunakan untuk mengambil sampel sedimen di dasar air yang keras seperti pasir, kerikil dan tanah liat.



**Gambar 4.14.** Ponar Grab

i. Jaring Apung

Alat ini merupakan jaring yang terbuat dari nilon, bingkai kawat dan memiliki luas pintu 929 cm<sup>2</sup>. Alat ini dipergunakan untuk mengambil sampel hewan di permukaan air.



**Gambar 4.15.** Jaring Apung

2. Parameter Fisika

a. Current Meter

Alat ini dipargunakan untuk mengetahui kecepatan arus air di dalam sungai atau badan air.



**Gambar 4.16.** Current Meter

b. Thermometer

Alat ini dipergunakan untuk mengukur suhu (temperatur) air.



**Gambar 4.17.** Thermometer

c. Turbidity Meter

Turbidity Meter merupakan alat ukur kualitas air yang dipergunakan untuk mengetahui tingkat kekeruhan yang terjadi pada air.



**Gambar 4.18.** Turbidimeter

d. Salinometer

Alat ini dipergunakan untuk mengetahui keasinan atau kadar garam dalam air.



**Gambar 4.19.** Salinometer

3. Parameter Kimia

a. pH Meter

Alat ini dipergunakan untuk mengetahui pH (derajat keasaman) larutan.



**Gambar 4.20.** pH Meter

b. Kertas Indikator Universal

Sebuah kertas yang terdiri dari beberapa warna yang berfungsi untuk mengetahui pH suatu larutan berdasarkan peta warna indikator.



**Gambar 4.20.** Kerta Indikator Universal

c. Dissolved Oxygen (DO) Meter

Dissolved Oxygen Meter adalah alat ukur kualitas air yang berfungsi untuk mengukur kandungan oksigen yang terlarut dalam air.



**Gambar 4.21.** DO Meter

d. CO<sub>2</sub> Meter

Alat ini dipergunakan untuk mengukur kadar CO<sub>2</sub> dalam larutan atau air.



**Gambar 4.22.** CO<sub>2</sub> Meter

e. Spektrofotometer

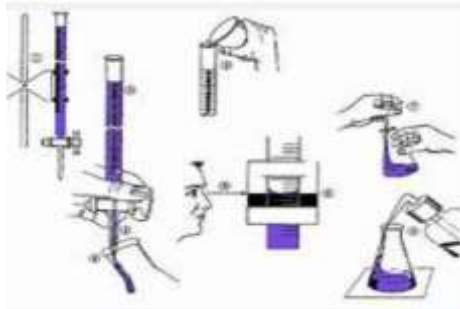
Alat ini terdiri dari dua instrument, spectrometer dan photometer. Fungsi spectrophotometer adalah untuk mengetahui kandungan ammonia, fosfat, nitrat dan nitrit serta beberapa kandungan logam dalam air.



**Gambar 4.23.** Spektrofotometer

f. Uji Titration

Instrumen yang merupakan gabungan beberapa alat, seperti biuret, statif, tabung erlenmeyer, labu ukur, pipet ukur, gelas arloji, pipet tets dan karet penghisap. Alat ini dipergunakan untuk mengetahui kadar (kandungan) kadar suatu zat dalam larutan.



**Gambar 4.24.** Peralatan Uji Tritrasi

### 4.3 Instrumen Analisis Kualitas Udara

Udara yang sehat mutlak diperlukan bagi kehidupan di muka bumi. Udara ambien merupakan udara yang bebas berada pada lapisan troposfer bumi. Beberapa alat yang biasa digunakan untuk mengetahui kualitas udara;

1. Thermometer

Alat ini digunakan untuk mengukur suhu (temperatur) udara atau benda.



**Gambar 4.25.** Thermometer

2. Higrometer

Alat ini digunakan untuk mengukur kandungan uap air dalam udara, disebut juga kelembaban udara.



**Gambar 4.26.** Higrometer

### 3. Light Meter

Alat ini digunakan untuk mengukur banyaknya penyinaran dalam ruang untuk melaksanakan kegiatan secara efektif.



**Gambar 4.27.** Light Meter

### 4. SoundLevel Meter

Alat ini digunakan untuk mengukur kebisingan lingkungan kerja.



**Gambar 4.28.** Sound Level Meter

#### 5. Partikel Counter

Alat ini digunakan untuk mengukur partikulat debu dalam udara.



**Gambar 4.29.** Partikel Counter

### **4.4 Prosedur Analisis Kualitas Lingkungan**

Guna mengoptimalkan pemanfaatan alat ukur kualitas lingkungan baik air maupun udara, diperlukan pedoman pelaksanaan pengujian/pengukuran yang baku dan standar yang disebut Standar Nasional Indonesia (SNI) Pengujian Kualitas Lingkungan sebanyak 153 Standar, yakni :

1. Standar Nasional Indonesia Uji Kualitas Air dan Air Limbah ada 79 SNI.
2. Standar Nasional Indonesia Uji Kualitas Air Laut ada 8 SNI.
3. Standar Nasional Indonesia Ekolabeling ada 11 SNI.
4. Standar Nasional Indonesia Uji Udara – Emisi sumber bergerak ada 4 SNI.
5. Standar Nasional Indonesia Uji Kualitas Udara Ambien ada 18 SNI.
6. Standar Nasional Indonesia Uji Kualitas Udara – Sumber tidak bergerak ada 22 SNI.
7. Standar Nasional Indonesia Uji Kualitas Kebisingan ada 1 SNI.

8. Standar Nasional Indonesia Uji Kualitas Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun sebanyak 10 SNI.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arrazy, S. 2020. *Bahan Ajar Analisis Kualitas Lingkungan*. Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Islam Negeri Medan, Sumatera Utara.
- Kurniawan, A. 2019. *Dasar-dasar Analisis Kualitas Lingkungan*. Wineka Media. Malang.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor : P23/MENLHK/SETJEN/KUM.1/10/2020 TENTANG Laboratorium Lingkungan.
- Rizal, R. 2017. *Analisis Kualitas Lingkungan*. Program Studi Kesehatan Masyarakat, Fakultas Ilmu Kesehatan UPN "Veteran" Jakarta.
- Tumpu, M. et. al. 2021. *Pengelolaan Kualitas Lingkungan*. Yayasan Kita Menulis. Medan.
- Zaman, B dan Syafrudin. 2012. *Pengelolaan Kualitas Lingkungan*. Lembaga Pengembangan dan Penjaminan Mutu Pendidikan. Universitas Diponegoro.Semarang.



# BAB 5

## PARAMETER KUALITAS AIR

*Oleh Isran Asnawi*

### 5.1 Pendahuluan

Parameter kualitas air merupakan suatu hal yang penting untuk diketahui bagi pengguna air, baik secara individu, komunitas, dan industri. Kualitas air perlu diketahui sebagai informasi tentang komposisi secara kualitatif dan kuantitatif senyawa kimia, faktor fisika, dan mikroorganisme yang terkandung di dalam air tersebut. Parameter kualitas air adalah indikator yang menyatakan standar kelayakan air tersebut digunakan sesuai peruntukan dan kebutuhannya. Parameter kualitas air berbeda-beda tiap jenis air. Misalkan parameter air untuk kebutuhan mandi dan higiene sanitasi memiliki parameter yang berbeda dengan air minum. Begitu juga dengan air untuk kebutuhan industri, air kolam renang (rekreasi), air untuk perikanan, air untuk budidaya pertanian, air limbah domestik hingga air limbah industri, tentu memiliki parameter kualitas yang berbeda-beda satu sama lain.

Parameter kualitas air dibagi menjadi tiga bagian, yaitu:

- 1) Parameter fisika, yaitu parameter kualitas air yang dapat dianalisis atau diamati berdasarkan karakteristik fisik dan visual. Contoh suhu, bau, warna, rasa, kekeruhan, dan TSS (*Total Suspended Solid*).
- 2) Parameter kimia, yaitu parameter kualitas air yang ditinjau dari komposisi unsur atau senyawa kimia yang terkandung di dalamnya, baik senyawa organik maupun senyawa anorganik. Contoh pH, alkalinitas, kesadahan, TDS (*Total Dissolved Solid*), oksigen terlarut, BOD (*Biological Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), logam berat

(besi, mangan, timbal, raksa, krom, tembaga, dll) dan senyawa kimia lainnya.

- 3) Parameter biologi, yaitu parameter kualitas air yang ditinjau dari kandungan mikroorganisme di dalamnya, yang dapat berupa virus, jamur, ganggang, dan bakteri patogen.

Dengan mengetahui parameter kualitas air, maka dapat dijadikan sebagai acuan dalam melakukan pengendalian kualitas air terutama pengolahan air.

## **5.2 Standar Baku Mutu Kualitas Air**

Parameter kualitas air memiliki nilai ambang batas yang berbeda-beda tiap jenis air. Parameter tersebut telah diatur oleh pemerintah dalam bentuk standar baku mutu kualitas air. Standar baku mutu kualitas air adalah nilai ambang batas maksimum atau minimum yang diperbolehkan atau harus ada yang telah ditetapkan dalam suatu sampel air. Standar Baku Mutu berisikan tentang ketentuan parameter kualitas air dalam bentuk peraturan perundangan yang dikeluarkan oleh pemerintah.

Salah satu contoh standar baku mutu kualitas air adalah Peraturan Menteri Kesehatan No. 32 Tahun 2017 yang mengatur kualitas air kebutuhan higiene sanitasi, kolam renang, SPA, dan pemandian umum. Contoh lain Standar Baku Mutu adalah Peraturan Menteri Kesehatan No. 492 Tahun 2010 yang mengatur tentang kualitas air minum. Pada Peraturan Pemerintah RI No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air, juga membahas mengenai parameter kualitas air yang dibagi menjadi 4 (empat) kelas. Dari kelas-kelas air tersebut, telah diatur masing-masing parameter kualitas air untuk tiap kelasnya. Adapun empat kelas tersebut meliputi (Pemerintah Republik Indonesia, 2001):

- 1) Kelas satu, yaitu air yang digunakan sebagai air minum dan sejenisnya

- 2) Kelas dua, yaitu air yang digunakan sebagai sarana dan prasarana rekreasi air dan sejenisnya
- 3) Kelas tiga, yaitu air yang digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar dan sejenisnya
- 4) Kelas empat, yaitu air yang digunakan untuk mengairi pertanian dan sejenisnya.

Kualitas air ditentukan berdasarkan keadaan air dalam kondisi normal. Kondisi normal yang dimaksud adalah kondisi air yang dapat digunakan sesuai fungsi dan peruntukannya. Apabila terjadi penyimpangan dari kondisi normal, maka air tersebut dikategorikan tercemar dan tidak dapat digunakan sesuai fungsi dan peruntukannya. Kondisi tercemar didefinisikan sebagai kondisi apabila suatu kualitas air menyimpang dari standar baku mutu yang seharusnya dan dapat memberi dampak buruk bagi lingkungan dan sekitarnya. Misalkan, salah satu parameter penting untuk air minum adalah jumlah bakteri E. Coli. Dalam hal ini baku mutu yang ditetapkan pada Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 492 Tahun 2010 tentang kualitas air minum ditetapkan maksimum 0 jumlah bakteri E. Coli per 100 ml sampel (Kementerian Kesehatan RI, 2010). Apabila setelah dianalisis, air minum tersebut terdeteksi mengandung 1 bakteri E. Coli, maka air tersebut tidak layak konsumsi dan dapat berbahaya bagi kesehatan tubuh manusia.

Contoh lain kondisi tercemar adalah parameter nilai kekeruhan yang menjadi parameter penting pada air higiene sanitasi. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 32 Tahun 2017 tentang kualitas air kebutuhan higiene sanitasi, kolam renang, SPA, dan pemandian umum, ditetapkan bahwa standar baku mutu maksimum untuk kekeruhan air higiene sanitas adalah 25 NTU (Kementerian Kesehatan RI, 2017). Apabila setelah dianalisis, air tersebut memiliki nilai kekeruhan sebesar 30 NTU, maka air tersebut tidak layak digunakan untuk mandi, cuci, dan

kebutuhan sanitasi lainnya. Hal ini dikarenakan kualitas air dengan kekeruhan yang melewati batas maksimum standar dapat membahayakan kulit dan berpotensi menimbulkan penyakit kritis.

Standar baku mutu lain yang dapat dijadikan acuan sebagai kriteria kualitas air adalah Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah. Pada acuan tersebut diatur baku mutu air limbah cair dari berbagai sumber limbah, baik dari domestik maupun industri. Dalam peraturan tersebut dinyatakan bahwa air limbah adalah sisa hasil aktivitas domestik dan industri berupa wujud cair yang dibuang ke lingkungan. Air limbah ini mengandung 99% air dan 1% residu zat lain. Terdapat 27 jenis sumber aktivitas yang diatur air limbahnya pada peraturan ini yang beberapa diantaranya adalah industri soda kaustik, farmasi, pelapisan logam, tekstil, penyamakan kulit, minyak sawit, kayu lapis, pulp dan kertas, karet, gula, tapioka, , pupuk urea, etanol, MSG, susu, minuman, sabun dan deterjen, bir, baterai, cat, dan pestisida (Kementerian Lingkungan Hidup, 2014).

## **5.3 Parameter Fisika**

### **5.3.1 Suhu, bau, dan rasa**

Suhu, bau, dan rasa merupakan parameter fisika yang paling mudah diamati. Parameter ini menjadi parameter penting khusus untuk air minum dan air higiene sanitasi. Parameter suhu, bau, dan rasa khusus untuk air minum dan air higiene sanitasi adalah sama yaitu suhu  $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tidak berbau, dan tidak berasa. Hal ini diatur pada Peraturan Menteri Kesehatan No. 492 Tahun 2010 dan Peraturan Menteri Kesehatan No. 32 Tahun 2017.

Suhu diukur dengan menggunakan thermometer, yang dapat berupa termometer raksa atau thermometer digital. Bau (*odor*) diukur dengan pengenceran sampel berturut-turut dengan air bebas bau hingga bau tidak lagi terdeteksi. Air bebas bau disiapkan dengan melewati air suling deionisasi. Uji ini cukup subjektif dan sepenuhnya tergantung pada indra penciuman panel

penguji. Panel penguji melakukan evaluasi variasi persepsi individu tentang bau. Pada uji rasa (*taste*), juga menggunakan panel penguji. Rasa dievaluasi menggunakan tiga metode, yaitu uji ambang rasa (FIT), penilaian peringkat rasa (FRA), dan analisis profil rasa (FPA).

Suhu, bau, dan rasa yang hasilnya di luar baku mutu mengindikasikan kualitas air yang tercemar. Suhu berpengaruh terhadap kualitas air karena perubahan suhu cenderung untuk mempengaruhi banyaknya proses kimiawi yang terjadi pada air. Air yang berbau mengindikasikan adanya mikroorganisme dan zat padat yang terkandung dalam air tersebut. Air yang berasa mengindikasikan adanya zat padat atau ion terlarut yang tidak diinginkan dalam air tersebut.

### **5.3.2 Kekeruhan dan Warna**

Kekeruhan atau turbiditas merupakan bagian dari parameter kualitas air secara fisika karena proses pengamatan parameter ini didasarkan atas prinsip optis interaksi partikel yang terkandung di dalam air. Kekeruhan atau turbiditas (dalam bahasa inggris disebut sebagai *turbidity*) adalah parameter kualitas air yang didasarkan pada timbulnya efek cahaya dari interaksi partikel zat padat yang terkandung dalam air. Kekeruhan pada air disebabkan oleh adanya zat padat tersuspensi, seperti tanah lempung, lumpur, pasir, zat organik, plankton, dan zat-zat halus lainnya yang masih dapat diamati secara visual. Kekeruhan pada air diukur dengan memanfaatkan sifat optis dari suatu sampel air (larutan), yaitu hamburan dan absorpsi cahaya yang melewati air tersebut.

Terdapat beberapa metode pengukuran nilai kekeruhan, namun metode yang paling populer yaitu metode nefelometrik menggunakan alat turbidimeter. Prinsip kerja dari alat ini adalah menggunakan prinsip penghamburan cahaya dari partikel zat padat yang terkandung dalam air. Nilai kekeruhan yang terdeteksi

pada alat adalah perbandingan antara intensitas cahaya yang dihamburkan dari suatu sampel air dengan intensitas cahaya yang dihamburkan oleh suatu larutan standar kekeruhan pada kondisi yang sama. Apabila semakin tinggi intensitas cahaya yang dihamburkan maka semakin tinggi pula nilai kekeruhannya (Alaerts and Santika, 1984). Nilai kekeruhan yang diperoleh dinyatakan dalam satuan *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU).

Standar baku mutu nilai kekeruhan khusus untuk air kebutuhan mandi dan higiene sanitasi adalah maksimum 25 NTU (berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 32 Tahun 2017). Sedangkan Standar baku mutu nilai kekeruhan khusus untuk air minum adalah maksimum 5 NTU (berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 492 Tahun 2010).

Warna juga merupakan parameter fisika pada kualitas air yang memiliki hubungan dengan kekeruhan. Warna di dalam air disebabkan oleh adanya ion-ion logam (terutama besi dan mangan), humus, plankton, dan tanaman air. Warna air yang diukur terdiri atas dua jenis yaitu warna sebenarnya dan warna nampak. Warna sebenarnya adalah warna nyata muncul setelah dilakukan proses penghilangan kekeruhan. Warna nampak adalah warna yang muncul disebabkan oleh ion-ion terlarut beserta zat padat tersuspensi yang terkandung di dalamnya.

Pengukuran parameter warna pada sampel air dilakukan dengan perbandingan secara visual warna sampel dengan larutan standar warna yang telah diketahui konsentrasinya. Larutan standar warna yang digunakan adalah larutan platina-kobalt (kalium kloro platina ( $K_2PtCl_6$ ) dan kobalt klorida ( $CoCl_2$ ). Nilai warna yang diperoleh dinyatakan dalam satuan *True Color Unit* (TCU). Standar baku mutu nilai warna khusus untuk air kebutuhan mandi dan higiene sanitasi adalah maksimum 50 TCU (berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 32 Tahun 2017). Sedangkan Standar baku mutu nilai warna khusus untuk air

minum adalah maksimum 15 TCU (berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 492 Tahun 2010).

### 5.3.3 Zat Padat Tersuspensi (TSS)

Pada suatu sampel air, terdapat berbagai jenis zat padat yang dapat berasal dari aktivitas makhluk hidup dan kondisi geografis sekitar. Zat padat pada sampel air dapat didefinisikan sebagai semua zat tersisa sebagai residu dalam suatu wadah bejana, bila sampel air tersebut dikeringkan pada suhu tertentu. Zat padat ini merupakan salah satu parameter kualitas air yang penting dan sering digunakan sebagai dasar perencanaan dan pengawasan proses pengolahan dalam bidang air minum, air higiene sanitasi, dan air limbah. Zat padat ini terdiri atas zat padat terlarut dan zat padat tersuspensi. Zat padat terlarut (TDS) merupakan residu dalam sampel air yang berupa ion atau senyawa yang tak dapat dilihat secara kasat mata. Sedangkan zat padat tersuspensi (TSS) adalah residu dalam sampel air yang berupa koloid, suspensi, atau partikel kasar yang biasanya dapat diamati secara visual. Dalam hal ini pada parameter kualitas air, zat padat terlarut tergolong ke dalam parameter kimia dan zat padat tersuspensi tergolong ke dalam parameter fisika.

Zat padat tersuspensi (dalam bahasa inggris disebut sebagai *Total Suspended Solid* atau disingkat TSS) merupakan jumlah partikel zat padat dengan ukuran  $10^{-5}$  cm hingga  $10^{-1}$  cm yang terkandung dalam sampel air. Zat padat ini berasal dari tanah liat, tanah lempung, kuarsa, zat organik, dan plankton.

Secara harfiah, suspensi yang menjadi bagian dari TSS merupakan campuran dalam wujud cair yang mengandung partikel padat di dalamnya dengan sifat tidak larut dan terdispersi. Karena sifat tidak larut dan terdispersi ini maka secara visual penampakan dari campuran suspensi dapat diamati langsung tanpa bantuan alat. Hal tersebut dikarenakan campuran suspensi memiliki partikel yang cukup besar. Partikel tersebut dibedakan

menjadi dua, yaitu partikel koloid dan partikel suspensi biasa. Partikel koloid dan suspensi biasa ini merupakan penyebab kekeruhan dalam air (Efek Tyndall) yang disebabkan oleh hamburan cahaya yang melewati partikel tersebut. Dengan demikian, parameter TSS memiliki hubungan dengan nilai kekeruhan. Semakin tinggi nilai TSS dalam suatu sampel air, maka biasanya semakin tinggi pula nilai kekeruhan dalam sampel air tersebut.

Pemeriksaan nilai TSS pada sampel air dapat dilakukan dengan analisa secara gravimetri. Prinsip dari analisa ini adalah pengeringan residu hasil penyaringan sampel air pada oven dengan suhu 105 °C selama 1 jam. Hasil pengeringan ini dianggap sebagai nilai TSS yang dinyatakan dalam satuan mg/L. Pada prosedur analisa ini, terlebih dahulu sampel air dipisahkan menggunakan filter penyaring sehingga diperoleh bagian filtrat dan residu. Bagian residu ini dilanjutkan untuk analisa TSS dan bagian filtrat dapat dilanjutkan untuk analisa TDS. Sehingga dengan demikian, prosedur analisa ini dapat diperoleh dua parameter sekaligus yaitu TSS dan TDS.

Nilai maksimum TSS dipersyaratkan pada Peraturan Pemerintah RI No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air. Dalam peraturan tersebut dipersyaratkan air kelas satu (air minum) dan dua (sarana dan prasarana rekreasi air) adalah maksimum 50 mg/L sedangkan air kelas tiga (budidaya ikan air tawar) dan empat (pertanian) adalah maksimum 400 mg/L. Selain itu, pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah juga dipersyaratkan nilai TSS pada berbagai aktivitas sumber air limbah, mulai dari limbah domestik hingga industri. Misalkan untuk air limbah industri minyak sawit dan industri pelapisan logam, nilai TSS yang dipersyaratkan secara berturut-turut adalah maksimum 250 mg/L dan 20 mg/L.

## **5.4 Parameter Kimia**

### **5.4.1 pH**

Nilai pH atau tingkat keasaman pada air menyatakan jumlah ion  $H^+$  yang terkandung dalam suatu sampel air. Ion  $H^+$  banyak berperan pada berbagai reaksi kimiawi yang terjadi di lingkungan perairan dan mengindikasikan keseimbangan antara asam dan basa. Standar ideal pH air berada pada kisaran 6-8. Pengukuran pH air dapat dilakukan dengan menggunakan alat pH meter dan kertas pH. Pada umumnya, nilai pH dipersyaratkan pada standar baku mutu kualitas air, baik untuk air minum, air higiene sanitasi, pemandian umum, air limbah domestik, hingga limbah industri. Secara umum, nilai pH dipersyaratkan memenuhi kisaran 6-9.

Pada umumnya air yang memiliki pH dibawah 6 dapat dinyatakan tercemar, karena mengindikasikan adanya ion atau senyawa lain yang tidak diinginkan, seperti sulfat dan fosfor. Dalam beberapa hal, perairan yang memiliki nilai pH rendah menyebabkan sulitnya biota laut untuk melangsungkan kehidupan yang berdampak pada ekosistem. Khusus untuk air minum atau air higiene sanitasi, air dengan pH rendah dapat berdampak pada kesehatan. Lingkungan perairan yang memiliki pH lebih dari 8 juga diindikasikan tercemar. Air yang sangat basa umumnya mengandung padatan terlarut tinggi. Sifat-sifat ini dapat berpengaruh pada menurunnya kegunaan keperluan air, seperti air pada tangki uap, pengolahan makanan, dan irigasi saluran air (Saeni, 1989).

### **5.4.2 Alkalinitas**

Alkalinitas merupakan parameter kualitas air yang menyatakan jumlah ion alkali pada sampel air yang dapat mengindikasikan kapasitas air dalam menjaga pH perairan. Alkalinitas pada air dapat didefinisikan sebagai upaya pertahanan air tersebut untuk menjaga pH air dari penambahan asam. Ion

alkali yang berperan pada alkalinitas ini antara lain karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ), hidroksida ( $\text{OH}^-$ ), borat ( $\text{BO}_3^{3-}$ ), fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), dan silikat ( $\text{SiO}_4^{4-}$ ).

Air yang digunakan untuk kebutuhan higiene sanitasi memerlukan ion alkalinitas pada konsentrasi tertentu. Air yang memiliki ion alkalinitas berlebih dapat menyebabkan kerak pada pipa yang berdampak pada kerugian ekonomi. Hal ini disebabkan ion alkalinitas tinggi merupakan indikasi tingginya ion terlarut lain, terutama Ca dan Mg sebagai faktor kesadahan. Para ahli biologi tanaman menggunakan parameter alkalinitas sebagai indikator kesuburan tanaman. Adanya ion alkali pada air irigasi tanaman mengindikasikan cukupnya kebutuhan alkali untuk mengantisipasi perubahan pH air akibat pengasaman.

Pengukuran nilai alkalinitas pada sampel air dilakukan dengan metode titrasi asam basa. Pada prinsipnya, sampel air dititrasi menggunakan asam sulfat dan ditambahkan dua jenis indikator yaitu fenolftalein dan metil oranye. Dua indikator ini ditambahkan untuk mengetahui nilai alkalinitas parsial dan total di bagian akhir prosedur analisa. Alkalinitas parsial (P) adalah jumlah alkalinitas sebagian dari total ion alkalinitas yaitu ion karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ). Sedangkan alkalinitas total (T) adalah jumlah keseluruhan ion alkalinitas yang terkandung dalam sampel air, yaitu karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ), dan hidroksida ( $\text{OH}^-$ ).

Dua indikator ini bekerja pada pH yang berbeda. Indikator fenolftalein bekerja pada kisaran pH 8,0 – 9,8. Pada kisaran pH ini dapat dideteksi ion karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ). Indikator metil oranye bekerja pada kisaran pH 3,1 – 4,4. Pada kisaran pH ini dapat dideteksi ion bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) dan hidroksida ( $\text{OH}^-$ ).

Nilai alkalinitas yang dipersyaratkan pada air kolam renang adalah 80 – 200 mg/L (Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 32 Tahun 2017).

### 5.4.3 Kesadahan

Kesadahan adalah parameter kualitas air yang menyatakan jumlah ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  yang terkandung dalam air. Ion ini mengakibatkan konsumsi sabun lebih tinggi karena adanya reaksi kimiawi antara ion dengan molekul sabun yang menyebabkan sifat sabun hilang. Selain itu kelebihan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  dapat menyebabkan terbentuknya kerak pada dinding pipa. Kerak terbentuk oleh interaksi ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  (dari alkalinitas) membentuk  $\text{CaCO}_3$ . Kerak ini akan mengurangi penampang basah pipa sehingga dapat mempersulit proses pemanasan yang berlangsung.

Pemeriksaan nilai kesadahan dilakukan dengan metode titrasi kompleksometri. Pada titrasi ini digunakan larutan EDTA (*Ethylenediamine-tetraacetic acid*) sebagai titran. EDTA akan membentuk kompleks kelat ketika ditambahkan ke dalam sampel yang mengandung kation  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$ . Terlebih dahulu, indikator Eriochrome Black T atau kalmagit ditambahkan ke sampel pada kondisi pH 10 (warna akan berubah menjadi merah anggur). Sampel larutan kemudian dititrasi dengan EDTA hingga warna berubah dari merah anggur menjadi biru sebagai tanda titik akhir titrasi.

Standar baku mutu nilai kesadahan khusus untuk air kebutuhan mandi dan higiene sanitasi dan air minum adalah sama yaitu maksimum 500 mg/L (berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 32 Tahun 2017 dan Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 492 Tahun 2010).

### 5.4.4 Zat Padat Terlarut (TDS)

Zat padat terlarut (dalam bahasa Inggris disebut sebagai *Total Dissolved Solid* atau disingkat TDS) merupakan jumlah zat terlarut yang terkandung dalam sampel air. Zat terlarut ini dapat berupa ion atau senyawa dengan ukuran partikel  $10^{-6}$  cm ke

bawah. Zat padat terlarut pada suatu perairan dapat bersumber dari aktivitas domestik, industri, atau alamiah perairan.

Pengujian nilai TDS dapat dilakukan bersamaan dengan pengujian TSS yaitu secara gravimetri. Prinsip dari analisa TDS adalah penguapan filtrat hasil penyaringan sampel air pada oven suhu 105 °C. Filtrat diuapkan hingga semua air menguap dan tak bersisa pada cawan. Hasil penguapan ini dianggap sebagai nilai TDS yang dinyatakan dalam satuan mg/L. Pada prosedur analisa ini, terlebih dahulu sampel air dipisahkan menggunakan filter penyaring sehingga diperoleh bagian filtrat dan residu. Bagian residu ini tidak lain adalah sampel untuk analisa TSS.

Standar baku mutu nilai TDS khusus untuk air kebutuhan mandi dan higiene sanitasi adalah maksimum 1000 mg/L (berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 32 Tahun 2017). Sedangkan Standar baku mutu nilai TDS khusus untuk air minum adalah maksimum 500 mg/L (berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 492 Tahun 2010).

#### **5.4.5 Oksigen Terlarut**

Oksigen terlarut (dalam bahasa inggris disebut sebagai *Dissolved Oxygen* atau disingkat DO) merupakan parameter penting pada kualitas air khususnya wilayah perairan karena menunjang keberlangsungan ekosistem perairan tersebut. Adanya oksigen terlarut memicu pertumbuhan kehidupan ikan dan biota air. Selain itu oksigen terlarut dibutuhkan untuk membersihkan polutan atau senyawa lain secara alamiah. Misalkan pada proses penguraian senyawa organik yang ada di dalam air dibutuhkan oksigen. Oksigen terlarut pada suatu perairan dapat berasal dari udara atmosfer dan proses fotosintesis tanaman air.

Analisa jumlah oksigen terlarut dalam air dapat dilakukan dengan metode Winkler dan metode DO meter. Prinsip metode Winkler adalah mengikat oksigen dalam sampel air menggunakan reagen Mangan dalam kondisi alkali sehingga terbentuk endapan

MnO<sub>2</sub>. Endapan ini kemudian direaksikan dengan asam sulfat dan kalium iodida sehingga dibebaskan iodin (I<sub>2</sub>). Jumlah iodin yang dibebaskan dianggap ekuivalen dengan jumlah oksigen terlarut yang terdapat dalam sampel air. Jumlah iodin ini kemudian dilanjutkan titrasi secara iodometri untuk mengetahui jumlah oksigen terlarut yang dinyatakan dalam mg/L.

Pada metode DO meter, sampel air diukur secara elektrokimia menggunakan alat yang terdiri dari elektroda yang sensitif terhadap oksigen. Metode pengukuran dengan DO meter ini lebih cepat dibandingkan dengan metode Winkler.

Secara umum kehidupan organisme di dalam air dapat bertahan apabila kadar oksigen terlarut lebih dari 5 mg/L. Dalam beberapa hal tertentu, terdapat beberapa organisme yang masih dapat hidup dibawah batas tersebut, misalkan cacing. Beberapa jenis air dipersyaratkan memiliki batas minimum kadar oksigen terlarut. Menurut Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 32 Tahun 2017, untuk air pemandian umum dipersyaratkan harus memiliki kadar oksigen terlarut minimum 8 mg/L.

#### **5.4.6 Biological Oxygen Demand (BOD)**

Tingkat penggunaan oksigen sering disebut sebagai kebutuhan oksigen biologis atau dalam bahasa inggris disebut sebagai *Biological Oxygen Demand* (BOD). Nilai BOD adalah parameter yang menyatakan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri dan mikroorganisme lain yang terlibat dalam air untuk mengurai senyawa organik yang dapat terurai selama periode waktu tertentu. Nilai BOD merupakan indikator pencemaran air oleh senyawa organik. Banyaknya jumlah senyawa organik menyebabkan turunnya jumlah oksigen terlarut, sebab oksigen tersebut digunakan untuk mengoksidasi senyawa organik.

Pengujian nilai BOD sering digunakan untuk memperkirakan dampak limbah yang mengandung sejumlah besar bahan organik yang berasal dari berbagai aktivitas industri yang

menggunakan bahan baku sediaan organik, seperti industri pengolahan makanan, industri pakan ternak, fasilitas pengolahan air limbah kota, dan industri pulp kertas. Kebutuhan oksigen yang tinggi menunjukkan potensi untuk penurunan jumlah oksigen terlarut secara drastis karena mikroorganisme mengoksidasi bahan organik dalam air limbah.

Pengujian nilai BOD dilakukan dengan simulasi proses biologis alamiah melalui inkubasi sampel air pada suhu 20 °C selama 5 hari. Selama lima hari tersebut berlangsung reaksi oksidasi senyawa organik dengan oksigen melalui bantuan bakteri aerob. Sebagai hasil dari reaksi tersebut terbentuk karbondioksida, air, dan amoniak. Dari reaksi tersebut, jumlah oksigen semakin berkurang tiap harinya. Jumlah oksigen pada hari terakhir (hari ke-5) kemudian diukur kadar oksigennya menggunakan metode Winkler.

Nilai BOD untuk air yang tidak tercemar biasanya 0,7 mg/L, sedangkan air yang tercemar memiliki nilai BOD lebih besar dari 200 mg/L (Situmorang, 2017). Pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah dipersyaratkan nilai BOD pada berbagai aktivitas industri. Misalkan untuk air limbah industri minyak goreng, industri pengolahan daging, dan industri perikanan nilai BOD yang dipersyaratkan secara berturut-turut adalah maksimum 75 mg/L, 125 mg/L, dan 100 mg/L.

#### **5.4.7 Chemical Oxygen Demand (COD)**

Tingkat penggunaan oksigen selain BOD, juga dapat dinyatakan dalam COD. Kebutuhan oksigen kimiawi atau dalam bahasa Inggris disebut sebagai *Chemical Oxygen Demand* (COD) adalah parameter yang menyatakan jumlah oksigen yang dibutuhkan mengoksidasi senyawa organik menggunakan agen pengoksidasi. Dalam hal ini agen pengoksidasi yang digunakan

untuk mengurai senyawa organik adalah kalium bikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ).

Masalah yang dihadapi pada pengujian nilai BOD adalah dibutuhkan 5 hari hingga diperoleh hasil. Jika senyawa organik teroksidasi secara kimiawi dan bukan biologis, pengujian dapat dilakukan lebih singkat. Oksidasi tersebut dapat dilakukan melalui pengujian COD karena hampir semua senyawa organik lebih mudah teroksidasi secara COD, dibandingkan secara BOD. Hasil pengujian nilai COD terkadang selalu lebih tinggi daripada hasil pengujian nilai BOD. Salah satu contohnya adalah limbah industri pulp kayu yang menghasilkan selulosa. Selulosa lebih mudah teroksidasi secara kimia (COD tinggi) tetapi sangat lambat terurai secara biologis (BOD rendah) (Weiner and Matthews, 2003).

Pengujian nilai COD dilakukan dengan menggunakan campuran kalium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) dan asam sulfat untuk mengoksidasi senyawa organik, dengan bantuan katalis perak sulfat. Proses ini berlangsung melalui pemanasan dan refluks selama dua jam. Hasil proses kemudian dilanjutkan dengan analisa jumlah oksigen terlarut melalui metode Winkler.

Pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah dipersyaratkan nilai COD pada berbagai aktivitas industri. Misalkan untuk air limbah industri minyak goreng, industri pengolahan daging, dan industri perikanan nilai COD yang dipersyaratkan secara berturut-turut adalah maksimum 150 mg/L, 250 mg/L, dan 200 mg/L.

#### **5.4.8 Logam Berat**

Logam berat adalah logam yang memiliki massa atom besar, yakni sekitar  $5 \text{ g/cm}^3$ . Hal ini, berarti 5 kali lebih besar dari bobot jenis air. Contoh logam berat antara lain merkuri (Hg), timbal (Pb), seng (Zn), arsen (As), kadmium (Cd), krom (Cr), mangan (Fe), nikel (Ni), dan tembaga (Cu). Sementara itu,

logam ringan yaitu logam yang bobot atom lebih kecil dari 5 g/cm<sup>3</sup> contoh natrium (Na), Ca (kalsium), dan kalium (K). Logam berat dalam air dapat termasuk ke dalam bahan berbahaya dan beracun bila ditemukan dalam konsentrasi tinggi. Pada konsentrasi rendah logam dibutuhkan oleh organisme hidup untuk pertumbuhan dan perkembangan, namun bila kadar cukup tinggi maka logam akan berubah menjadi toksik atau bioakumulasi dalam rantai makanan sehingga dapat menyebabkan kematian (Puspasari, 2016). Standar baku mutu kadar logam berat pada jenis air higiene sanitasi, air minum, dan air limbah industri pelapisan logam ditampilkan pada tabel 5.1, 5.2, dan 5.3.

Metode analisa logam berat dalam sampel air sangat beragam. Pemilihan metode yang tersedia dapat dilakukan berdasarkan akurasi, sensitivitas, dan biaya. Logam berat biasanya diukur menggunakan metode spektroskopi serapan atom (AAS), *inductive coupled plasma* (ICP) dan kolorimetri.

**Tabel 5.1.** Standar baku mutu logam berat untuk kebutuhan air higiene sanitasi

| No. | Logam berat         | Satuan | Kadar maksimum yang diperbolehkan |
|-----|---------------------|--------|-----------------------------------|
| 1   | Air raksa           | mg/L   | 0,001                             |
| 2   | Arsen               | mg/L   | 0,05                              |
| 3   | Kadmium             | mg/L   | 0,005                             |
| 4   | Kromium (valensi 6) | mg/L   | 0,05                              |
| 5   | Selenium            | mg/L   | 0,01                              |
| 6   | Seng                | mg/L   | 15                                |
| 7   | Timbal              | mg/L   | 0,05                              |

Sumber: (Kementerian Kesehatan RI, 2017)

**Tabel 5.2.** Standar baku mutu logam berat untuk air minum

| No. | Logam berat   | Satuan | Kadar maksimum yang diperbolehkan |
|-----|---------------|--------|-----------------------------------|
| 1   | Air Raksa     | mg/L   | 1                                 |
| 2   | Nikel         | mg/L   | 0,07                              |
| 3   | Timbal        | mg/L   | 0,01                              |
| 4   | Uranium       | mg/L   | 0,015                             |
| 5   | arsen         | mg/L   | 0,01                              |
| 6   | total kromium | mg/L   | 0,05                              |
| 7   | kadmium       | mg/L   | 0,003                             |

Sumber: (Kementerian Kesehatan RI, 2010)

**Tabel 5.3.** Standar baku mutu logam berat untuk air limbah pelapisan logam

| No. | Logam berat      | Satuan | Kadar maksimum yang diperbolehkan |
|-----|------------------|--------|-----------------------------------|
| 1   | Cu               | mg/L   | 0,5                               |
| 2   | Zn               | mg/L   | 1                                 |
| 3   | Cr <sup>6+</sup> | mg/L   | 0,1                               |
| 4   | Cr               | mg/L   | 0,5                               |
| 5   | Cd               | mg/L   | 0,05                              |
| 6   | Pb               | mg/L   | 0,1                               |
| 7   | Ni               | mg/L   | 1                                 |
| 8   | Ag               | mg/L   | 0,5                               |

Sumber: (Kementerian Lingkungan Hidup, 2014)

#### **5.4.9 Senyawa kimia lainnya**

Senyawa kimia lain sebagai parameter kimia kualitas air antara lain nitrogen, nitrit, nitrat, fosfat, silika, sulfat, dan klor aktif. Keberadaan senyawa ini dalam air tidak dapat diabaikan karena dapat memberi dampak buruk terhadap ekosistem dan kesehatan.

Senyawa nitrogen, nitrit, nitrat, dan amonia muncul di perairan akibat limbah industri, terutama industri petrokimia. Kelebihan nitrogen dapat menyebabkan eutrofikasi pada perairan. Nitrit dapat berdampak buruk pada kesehatan yaitu mengikat hemoglobin dalam darah dan dikenal sebagai penyakit methemoglobinemia. Ion sulfat dalam air berasal dari hasil pencucian mineral, misalkan gips. Senyawa silikat muncul dalam air buangan industri, terutama industri deterjen dan produksi zat anti karat. Senyawa fosfat muncul di perairan akibat dari air limbah rumah tangga dan industri deterjen. Kenaikan konsentrasi fosfat mengindikasikan adanya zat pencemar. Klor aktif muncul akibat proses desinfeksi pada kolam renang. Kelebihan klor aktif sisa hasil proses desinfeksi dapat berdampak karsinogenik bagi kesehatan.

Keberadaan senyawa-senyawa kimia ini ditetapkan jumlahnya pada standar baku mutu kualitas air hygiene sanitasi dan air minum (berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 32 Tahun 2017 dan Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 492 Tahun 2010). Selain itu, jumlah senyawa-senyawa ini juga diatur pada standar baku mutu air limbah industri yaitu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014.

### **5.5 Parameter Biologi**

Parameter biologi merupakan parameter kualitas air yang ditinjau dari mikroorganisme yang ada di dalam air tersebut. Pada umumnya mikroorganisme yang dimaksud adalah bakteri patogen yang berbahaya bagi kesehatan manusia. Dari sudut pandang kesehatan masyarakat, parameter biologi air sama pentingnya dengan parameter kimia. Sejumlah besar penyakit menular

dapat ditularkan melalui air, di antaranya tipus dan kolera. Daftar penyakit yang ditimbulkan oleh bakteri patogen ditampilkan pada tabel 5.4.

**Tabel 5.4.** Daftar bakteri patogen yang ditularkan melalui air

| Jenis mikroorganisme | Spesies                                    | Penyakit yang ditimbulkan      |
|----------------------|--------------------------------------------|--------------------------------|
| Bakteri              | <i>Campylobacter</i>                       | Gastroenteritis                |
|                      | <i>Clostridium botulinum</i>               | Gastroenteritis (botulism)     |
|                      | <i>Clostridium perfringens</i>             | Gastroenteritis                |
|                      | <i>E. coli</i>                             | Gastroenteritis                |
|                      | <i>Legionella</i>                          | Pneumonia (penyakit paru-paru) |
|                      | <i>Salmonella paratyphi</i>                | Demam Paratifoid               |
|                      | <i>Salmonella typhi</i>                    | Demam tifoid                   |
|                      | <i>Shigella</i> (beberapa species)         | Desentri                       |
|                      | <i>Staphylococcus aureus</i>               | Gastroenteritis                |
|                      | <i>Vibrio comma</i> ( <i>V. cholerae</i> ) | Kolera                         |
|                      | <i>Yersinia enterocolitica</i>             | Gastroenteritis                |
| Protozoa             | <i>Cryptosporidium</i>                     | Kriptosporidiasis              |
|                      | <i>Entamoeba histolytica</i>               | Desentri amuba                 |
|                      | <i>Giardia lumbli</i>                      | Giardiasis                     |
| Virus                | <i>Hepatitis A virus</i>                   | Hepatitis                      |
|                      | <i>Poliovirus</i>                          | Poliomyelitis                  |

Sumber: (Weiner and Matthews, 2003)

Pemeriksaan mikroorganisme pada sampel air dilakukan dengan analisa mikrobiologi. Prinsip dasar analisa mikrobiologi adalah dengan menumbuhkan mikroba sampel air menggunakan media agar atau kaldu yang mengandung nutrisi untuk pertumbuhan mikroba. Media kemudian dimasukkan ke dalam oven pada suhu tertentu hingga beberapa waktu hingga diperoleh koloni bakteri yang muncul pada permukaan media agar di cawan petri. Terdapat beberapa jenis metode analisa mikrobiologi yang spesifik untuk mikroba spesies tertentu. Contohnya untuk analisa bakteri total digunakan metode *Total Plate Count*, sedangkan untuk bakteri E. Coli tinja digunakan metode filter membran dan tabung fermentasi (Alaerts and Santika, 1984). Disamping itu, untuk bakteri koliform dapat dianalisa dengan metode filter membran, *most probable number* (MPN), dan *Coli Count* (Weiner and Matthews, 2003).

Pada standar baku mutu khusus untuk air kebutuhan mandi dan higiene sanitasi dipersyaratkan jumlah maksimum bakteri koliform total adalah 50 CFU/100 ml dan E. coli adalah 0 CFU/100 ml (berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 32 Tahun 2017). Sedangkan standar baku mutu khusus untuk air minum dipersyaratkan jumlah maksimum bakteri koliform total E. Coli adalah 0 jumlah/100 ml (berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 492 Tahun 2010).

## DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts, G. and Santika, S. S. 1984. *Metoda Penelitian Air*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Kementerian Kesehatan RI. 2010. *Persyaratan Kualitas Air Minum, Kementrian Kesehatan Republik Indonesia*. Indonesia. Available at: <http://www.depkes.go.id> (Accessed: 10 June 2017).
- Kementerian Kesehatan RI. 2017. *Permenkes RI No 32 Tahun 2007: Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus per Aqua, dan Pemandian Umum*. Jakarta.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2014. *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah*. Jakarta. doi: 10.1177/003231870005200207.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2001. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air*. Jakarta.
- Puspasari, R. 2016. 'Logam Dalam Ekosistem Perairan', *Bawal*, 1(2), pp. 1–6. doi: 10.15578/bawal.1.2.2006.43-47.
- Saeni, M. S. 1989. *Kimia Lingkungan*. Bogor: IPB Press.
- Situmorang, M. 2017. *Kimia Lingkungan*. ke-1. Depok: Rajawali Pers.
- Weiner, R. F. and Matthews, R. A. 2003. *Environmental Engineering*. 4th Ed, *Integrated Environmental Assessment and Management*. 4th Ed. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann. doi: 10.1002/ieam.270.



# **BAB 6**

## **METODE DAN TEKNIK PENGAMBILAN SAMPEL AIR**

*Oleh Ika Fitriani Juli Palupi*

### **6.1 Pendahuluan**

Salah satu komponen yang tidak terpisahkan dari pengujian kualitas air adalah pengambilan sampel air. Tujuan dari pengambilan sampel adalah mendapatkan volume air representatif, tetapi komposisi, kualitas dan karakteristik air masih sama dengan badan air dimana air tersebut diambil. Hal tersebut dilakukan agar didapatkan data pengujian yang valid dan akurat. (UNS, 2014)

Idealnya, infrastruktur laboratorium harus dibangun yang memungkinkan semua sampel dikembalikan ke laboratorium dalam beberapa jam setelah diambil. Namun, hal ini bergantung banyak hal. Seperti ketersediaan sistem jalan raya yang baik, transportasi bermotor yang dapat diandalkan untuk semua petugas pengambilan sampel, dan sistem pengiriman dan penyimpanan sampel yang baik. Sejumlah kecil pengujian sederhana perlu dilakukan untuk menguji parameter kritis yang dipilih dengan menggunakan metode sederhana dan peralatan pengujian air *portabel* yang sesuai. (Department of Water, 2009) Urutan pelaksanaan pengambilan sampel air adalah sebagai berikut (SNI, 1991):

1. Menentukan lokasi pengambilan sampel
2. Menentukan titik pengambilan sampel
3. Melakukan pengambilan sampel
4. Melakukan pemeriksaan kualitas air di lapangan

5. Melakukan pengolahan pendahuluan dan pengawetan sampel
6. Pengepakan sampel dan pengangkutan ke laboratorium

Oleh karena itu diperlukan pengetahuan dasar tentang metode dan teknik pengambilan sampel air.

## **6.2 Pemilihan lokasi dan titik pengambilan sampel**

Salah satu langkah penting dalam prosedur pengambilan sampel air adalah memilih lokasi pengambilan sampel agar sampel yang diambil benar-benar mewakili badan air yang akan diteliti dan mendapatkan hasil pengukuran yang representatif. Dalam memilih lokasi sampling, perlu mempertimbangkan tujuan pengukuran dan pemantauan, serta pengetahuan tentang geografi dan kondisi badan air yang akan diteliti (UNS, 2014). Ketika perencanaan dilakukan dan lokasi pengambilan sampel air sudah ditentukan, optimalisasi titik pengambilan sampel dapat dilakukan dengan analisis pra-survei kuantifikasi jarak optimal untuk menghindari autokorelasi spasial dalam variabel air sasaran antar titik pengambilan sampel (Januar, 2018)

### **6.2.1 Air permukaan**

Lokasi pengambilan sampel di air permukaan dapat berasal dari daerah pengaliran sungai dan danau/waduk, dengan penjelasan sebagai berikut (SNI, 2008):

1. Pemantauan kualitas air pada suatu daerah pengaliran sungai (DPS), berdasarkan pada:
  - a. Sumber air alamiah, yaitu lokasi pada tempat yang belum terjadi atau masih sedikit pencemaran
  - b. Sumber air tercemar, yaitu lokasi pada tempat yang telah mengalami perubahan atau di hilir sumber pencemar
  - c. Sumber air yang dimanfaatkan, yaitu lokasi pada tempat penyadapan pemanfaatan sumber air tersebut

2. Pemantauan kualitas air pada danau/waduk berdasarkan pada:
  - a. Tempat masuknya sungai ke waduk/waduk
  - b. Di tengah danau/waduk
  - c. Lokasi penyadapan air untuk pemanfaatan
  - d. Tempat keluarnya air danau/waduk

Titik pengambilan sampel air sungai ditentukan berdasarkan debit air sungai yang diatur dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Untuk debit  $< 5 \text{ m}^3/\text{detik}$  , sampel diambil pada satu titik di tengah sungai pada  $0,5 \times$  kedalaman dari permukaan
2. Untuk debit  $5\text{-}150 \text{ m}^3/\text{detik}$ , sampel diambil pada 2 (dua) titik, masingmasing pada jarak  $1/3$  dan  $2/3$  lebar sungai pada  $0,5 \times$  kedalaman sungai
3. Untuk debit  $> 150 \text{ m}^3/\text{detik}$ , sampel minimum 6 (enam) titik , masingmasing pada jarak  $1/4$ ,  $1/2$ ,  $3/4$  lebar sungai pada  $0,2$  dan  $0,8 \times$  kedalaman sungai

Titik pengambilan sampel air danau/waduk ditentukan berdasarkan kedalamannya, dengan ketentuan sebagai berikut (SNI, 2008):

- a) Danau atau waduk yang kedalamannya kurang dari 10 m, sampel diambil di 2 (dua) titik yaitu permukaan dan bagian dasar, kemudian dicampurkan (komposit kedalaman).
- b) Danau atau waduk yang kedalamannya 10 m – 30 m, sampel diambil di 3 (tiga) titik yaitu permukaan, lapisan termoklin dan bagian dasar kemudian dicampurkan (komposit kedalaman).
- c) Danau atau waduk yang kedalamannya 31 m – 100 m, sampel diambil di 4 (empat) titik yaitu permukaan, lapisan termoklin, di atas lapisan hipolimnion, dan bagian dasar kemudian dicampurkan (komposit kedalaman).

- d) Danau atau waduk yang kedalamannya lebih dari 100 m, titik pengambilan sampel ditambah sesuai keperluan kemudian dicampurkan (komposit kedalaman).

### **6.2.2 Air tanah**

Titik pengambilan sampel air tanah harus memperhatikan pola arah aliran air, dapat berasal dari air bebas (tak tertekan) dan air tertekan (SNI, 2008).

1. Air tanah bebas (akuifer tak tertekan)

Titik pengambilan sampel air tanah bebas dapat berasal dari sumur gali dan sumur bor, dengan ketentuan sebagai berikut:

- a. Disebelah hulu dan hilir sesuai dengan aliran air tanah dari lokasi yang akan dipantau
- b. Didaerah pantai dimana terjadi penyusupan air asin, dan bila diperlukan, diperluas beberapa titik ke arah daratan
- c. Tempat-tempat lain sesuai dengan tujuan pemeriksaan

2. Air tanah tertekan (akuifer tertekan)

Titik pengambilan sampel air tanah tertekan dapat berasal dari sumur bor yang berfungsi sebagai:

- a. Sumur produksi yang berfungsi untuk pemenuhan kebutuhan perkotaan, pedesaan, pertanian, industri dan sarana umum
- b. Sumur pemantauan kualitas air tanah
- c. Sumur observasi pengawasan imbuhan
- d. Sumur observasi cekungan air tanah artesis
- e. Sumur observasi wilayah pesisir tempat dimana terjadi penyusupan air asin
- f. Sumur observasi penimbunan atau pengolahan limbah domestik atau limbah industri

Secara umum, kualitas air sumur atau air tanah relatif stabil, sehingga sampel air dapat diambil pada kedalaman 20 cm di atas permukaan air. Untuk air sumur bor, sampel air dapat diambil di tempat keluar dari pompa atau kran keluaran, setelah air dibuang beberapa saat untuk mengeluarkan air yang terperangkap dalam pipa (Kegley and Andrews, 1987).

### **6.2.3 Air pada instalasi pengolahan air**

Dalam instalasi pengolahan air, lokasi pengambilan sampel air dipilih untuk mengukur efisiensi setiap proses, mulai dari air baku hingga air hasil olahan, sehingga jumlah titik pengambilan sampel tergantung pada jumlah proses yang digunakan.

Pilihan lokasi dilakukan untuk mengetahui seberapa jauh perubahan kualitas air disebabkan oleh perjalanan air dari reservoir di instalasi ke konsumen. Perubahan kualitas air di konsumen dapat disebabkan oleh korosi pipa transmisi atau gangguan lainnya. Banyak konsumen sangat dipengaruhi oleh banyaknya sampel air yang diambil sampelnya. WHO menetapkan batasan untuk jumlah sampel air yang harus diambil. Misalnya, satu (satu) sampel air diperlukan untuk konsumen antara 20.001 dan 50.000. Untuk penambahan setiap 5000 konsumen, diperlukan satu sampel air dengan pengambilan sampel setiap dua minggu sekali (UNS, 2014)

## **6.3 Persiapan pengambilan sampel**

Sebelum melakukan pengambilan sampel, perlu dilakukan beberapa hal sebagai langkah persiapan. Berikut adalah beberapa langkah yang perlu disiapkan sebelum melakukan pengambilan sampel air.

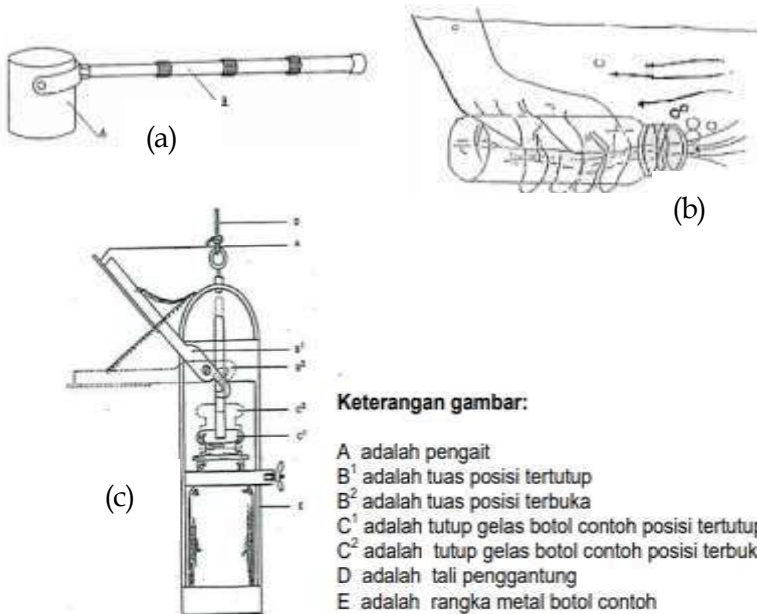
### **6.3.1 Desain dan persiapan pengambilan sampel**

Menyiapkan beberapa dokumen pendukung yang perlu dibawa saat akan melakukan pengambilan sampel air. Dokumen yang dimaksud antara lain jadwal pengambilan sampel, registrasi

sampel, surat ijin persetujuan pengambilan sampel air (jika dilakukan di daerah/area yang dilindungi atau area milik pribadi), form keterangan waktu, lokasi dan nama petugas pengambil sampel, peta lokasi dan titik pengambilan sampel, SOP pengambilan sampel. Penyiapan peralatan K3, alat pengambil sampel, botol sampel yang sudah dibersihkan, kotak pendingin, label sampel dan reagen pengawet. Dapat membawa kamera, perekam suara, dan alat pendeteksi lokasi/Global positioning system (GPS) (Queensland Government, 2018).

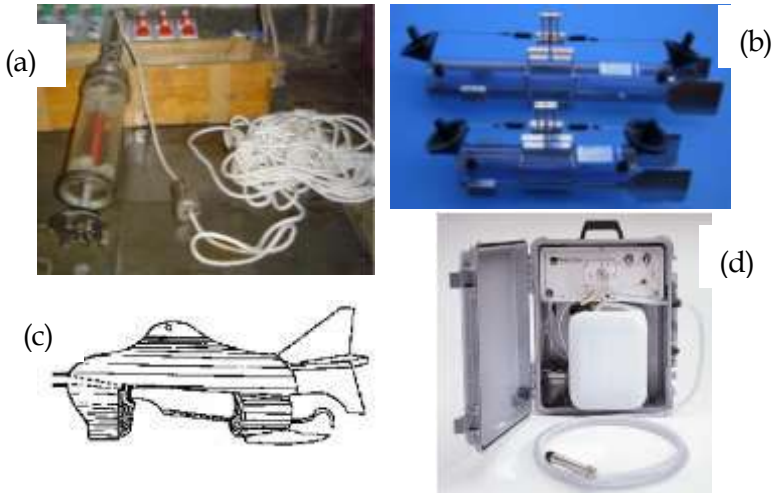
### **6.3.2 Alat pengambil sampel air**

Beberapa syarat alat pengambil sampel anantara lain terbuat dari bahan yang tidak mempengaruhi sifat sampel, mudah dicuci, mudah dipindahkan tanpa menyisakan bahan tersuspensi di dalamnya, mudah dan aman dibawa, kapasitas alat tergantung dari tujuan, umumnya 1-5 liter. Berikut beberapa jenis alat pengambil sampel (SNI, 2008).



**Gambar 6.4.** Alat pengambil sampel sederhana. (a) gayung bertangkai panjang, (b) botol plastik bertutup, (c) botol sampler dengan pemberat. (Sumber: SNI, 2008)

Alat pengambil sampel sederhana (gambar 6.1) dalam praktiknya paling sering digunakan untuk mengambil air permukaan atau air sungai kecil yang relatif dangkal.



**Gambar 6.5.** Alat pengambil sampel semi otomatis dan otomatis.  
 (a) vertical water sampler; (b) horisontal water sampler; (c) alat untuk gabungan kedalaman; (d) automatic water sampler.  
 (Sumber: (a), (b), (d) UNS, 2009; (c) SNI, 2008)

Alat pengambil sampel pada kedalaman tertentu (point sampler) digunakan untuk mengambil sampel air pada kedalaman yang telah ditentukan pada sungai, danau atau waduk. Ada dua point sampler, yaitu tipe vertikal dan horisontal (gambar 2 a dan b) (SNI, 2008).

Alat pengambil sampel air gabungan digunakan untuk mengambil sampel air pada sungai yang dalam. Sampel yang diambil merupakan gabungan mulai dari permukaan sampai ke dasar sungai (Gambar 2c) (SNI, 2008).

Alat pengambil sampel otomatis digunakan untuk mengambil sampel secara otomatis dalam jangka waktu tertentu. Sampel yang didapatkan merupakan gabungan sampel selama periode waktu tertentu (Gambar 2d) (SNI, 2008).

### **6.3.3 Botol/wadah sampel air**

Silakan ikuti prosedur di bawah ini untuk membersihkan botol polietilen dan tutupnya:

Bilas botol dan tutup sekali dengan air keran. Isi botol hingga meluap dengan 'Dekon 90 (5%)' yang diencerkan dan pasang tutup botol. Kocok botol sedikit dan diamkan setidaknya selama 2 jam. Lepaskan tutup dan botol kosong. Bilas botol dan tutupnya dengan air keran yang mengalir sampai tidak ada busa yang terlihat. Bilas botol dan tutup sekali dengan air deionisasi. Isi botol dengan asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) 1:1 dan tutup botol. Kocok botol sedikit dan diamkan setidaknya selama 2 jam. Lepaskan tutup dan botol kosong. Bilas botol dan tutupnya 3 kali dengan air deionisasi. Keringkan botol dan tutupnya dalam oven pada suhu 50°C (ISO 5667, 2006)

### **6.3.4 Kotak/box pengangkut sampel**

Sebelum memesan wadah, harus mengetahui persyaratan laboratorium uji karena jumlah sampel dan metode pengawetannya dapat berbeda antar laboraorium sesuai dengan standar yang dijadikan rujukan. Sampel harus dikumpulkan ke dalam wadah yang tepat dan disimpan sesuai dengan persyaratan laboratorium analisis. Label kedap air harus dilampirkan pada wadah sampel bersama dengan ruang untuk pengambil sampel mengisi informasi yang relevan. Dalam beberapa kasus, mungkin memerlukan pengambilan sampel meskipun wadah sampel yang tepat tidak tersedia. Jangan secara otomatis berasumsi bahwa pengambilan sampel tidak mungkin karena dalam situasi ini seringkali hanya ada satu kesempatan untuk melakukannya. Improvisasi yang hati-hati dapat dilakukan menggunakan wadah bersih alternatif. Namun tetap perlu menghubungi laboratorium analisis (Queensland Government, 2018).

### **6.3.5 Reagen pengawet dan untuk mengukur parameter di lapangan**

Beberapa parameter pengukuran sampel air harus dilakukan secepat mungkin di lokasi pengambilan sampel air, parameter seperti temperatur, pH, oksigen terlarut, asiditas dan alkalinitas, dan sisa klor. Oleh karena itu, perlu disiapkan peralatan yang digunakan untuk mengukur parameter di lapangan, juga harus disiapkan pereaksi untuk pengawetan contoh air. Pereaksi yang umum digunakan untuk pengawetan adalah asam sulfat pekat, asam nitrat pekat, dan natrium hidroksida pekat (Queensland government, 2018)

### **6.3.6 Label untuk sampel air**

Setiap sampel air yang diambil harus diberi label, atau kartu identitas, yang berisi nama sampel air, lokasinya, tanggal dan jam pengambilan, dan nama petugas yang mengambilnya. Metode pengawetan yang digunakan, kondisi badan air dan cuaca (banjir, hujan, dll.) (UNS, 2014)

## **6.4 Teknik pengambilan sampel air secara umum**

Ada tiga teknik pengambilan sampel air secara umum. Tiga teknik tersebut adalah sebagai berikut:

### **6.4.1 Grab sampling (pengambilan sampel sesaat)**

Teknik grab sampling dilakukan dengan mengambil sampel air hanya satu kali pengambilan pada satu lokasi.

Karena pengambilan sampel hanya satu kali, maka data hasil pengukuran hanya ada satu. Oleh karena itu, informasi yang diperoleh dari pengambilan sampel dengan cara grab sampling ditujukan untuk badan air yang kualitasnya relatif stabil terhadap perubahan musim dan iklim. Air sumur dalam, misalnya, adalah contoh badan air yang kualitasnya relatif stabil, sehingga pengambilan contoh sesaat dapat mewakili kualitas badan air tersebut (Gnanavelu, 2008).

#### **6.4.2 Composite sampling (pengambilan sampel campuran)**

Sampling komposit, juga disebut sebagai sampling air campuran, adalah sampel air yang diambil dari satu tempat dengan beberapa kali periode pengambilan dalam jangka waktu tertentu dan kemudian digabungkan menjadi satu sampel. Pengambilan sampel biasanya dilakukan selama dua puluh empat jam (siang atau malam), dengan frekuensi setiap 1, 2 atau 3 jam sekali, atau secara kontinyu selama dua puluh empat jam menggunakan pompa dengan debit konstan.

Oleh karena itu, hasil pengukuran contoh air komposit berfungsi sebagai informasi kualitas air rata-rata selama periode waktu tertentu. Pengambilan contoh air komposit digunakan untuk badan air yang kualitasnya berubah seiring waktu. Misalnya, jika sungai dianggap tercemar oleh air buangan rumah tangga, maka kualitas air sungai tersebut pasti akan berubah setiap waktu karena air buangan rumah tangga masuk. Oleh karena itu, untuk mengetahui kualitas air sungai tersebut tidak cukup hanya mengambil sampel (ambil sampel), tetapi perlu dilakukan pengambilan contoh air secara komposit (Gnanavelu, 2008)

#### **6.4.3 Integrated sampling (pengambilan sampel terpadu)**

Campuran sampel yang dikumpulkan dari berbagai tempat secara bersamaan digunakan untuk pengambilan sampel terpadu. Ini bisa menjadi variasi horizontal atau vertikal. Contohnya termasuk sungai, sungai, waduk, atau danau dengan lebar dan kedalaman yang berbeda. Untuk memahami dampak signifikan dari perlakuan, sampel terpadu dari aliran berbeda dapat dibuat daripada perlakuan gabungan di industri yang memiliki aliran berbeda (Gnanavelu, 2008).

# 6.5 Pengamatan dan pengukuran parameter fisik dilapangan

## 6.5.1 Suhu

Untuk mengukur suhu, dapat digunakan termometer yang memiliki suhu antara 0 - 50 °C atau termometer elektronik yang sesuai. Probe atau termometer dimasukkan ke dalam air yang akan diukur. Setelah pembacaan stabil, suhu diukur; ini memerlukan waktu beberapa menit.

Suhu air yang tinggi membatasi ketersediaan oksigen terlarut untuk kehidupan akuatik karena kelarutan oksigen menurun dengan naiknya suhu. Suhu air juga mengontrol kecepatan reaksi biokimia, yang berdampak pada kualitas air. Radiasi matahari dan radiasi balik, konduksi panas dan pendinginan evaporatif, aliran masuk anak sungai, dan pelepasan air tanah adalah beberapa sumber panas dan pembuangan ke badan air (Department of Water, 2009).

**Tabel 6.8.** Prosedur sampling untuk pengukuran suhu

|                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Teknik sampling.<br>Gunakan meteran genggam <i>in-situ</i> untuk pengukuran di lapangan | Meteran harus dijaga dalam gerakan lambat melalui kolom air saat pembacaan sedang dilakukan.<br>Biarkan beberapa menit agar pembacaan stabil.<br>Idealnya, pengukuran harus dilakukan sekitar 10 cm di bawah air permukaan (untuk pengukuran permukaan). |
| Satuan/unit pengukuran                                                                  | Derajat celcius (°C)                                                                                                                                                                                                                                     |
| Keterangan                                                                              | Pengukuran dilakukan langsung di lapangan                                                                                                                                                                                                                |

### 6.5.2 Tingkat keasaman (pH)

Dalam suatu larutan, pH adalah konsentrasi ion hidrogen. Konsentrasi ini ditunjukkan dalam bentuk logaritma negatif. Ini menunjukkan keasaman atau kebasaan larutan, dalam hal ini air. Air dengan pH 7 bersifat netral, dengan tingkat pH yang lebih rendah menunjukkan peningkatan keasaman, dan tingkat pH yang lebih tinggi dari 7 menunjukkan larutan yang lebih basa. Dampak pH pada racun potensial menjadi penting untuk dipertimbangkan, seperti bioavailabilitas logam berat (Department of Water, 2009).

**Tabel 6.9.** Prosedur sampling untuk pengukuran pH

|                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Teknik sampling.<br>Gunakan meteran genggam <i>in-situ</i> untuk pengukuran di lapangan | Meteran harus dijaga dalam gerakan lembut melalui kolom air saat pembacaan sedang dilakukan.<br>Biarkan beberapa menit agar meteran menjadi stabil.<br>Idealnya, pengukuran harus dilakukan sekitar 10 cm di bawah air permukaan (dan kemudian sekitar 10 cm di atas permukaan sedimen); namun, hal ini tidak selalu memungkinkan di perairan dangkal. Pembacaan kolom pada kedalaman pertengahan akan cukup dalam kasus ini. |
| Teknik sampling untuk analisis di laboratorium                                          | Tanpa penyaringan sampel/non sampel filter                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Volume                                                                                  | 125 ml                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Botol sampel                                                                            | Plastik*<br>Gunakan tutup botol yang mengandung teflon<br>Gunakan botol baru yang bersih                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Teknik sampling                                                                         | Pengumpulan langsung ke dalam botol sampel atau transfer ke dalam botol sampel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

|                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                               | dari bejana pengumpul.<br>Pastikan botol sampel dibilas tiga kali dengan air sampel ( $3 \times 20$ mL) sebelum pengisian.                                                                                                                                                      |
| Prosedur pengawetan                           | Simpan pada suhu $1 - 4$ °C, jangan dibekukan                                                                                                                                                                                                                                   |
| Prosedur pengisian botol                      | Hindari terbentuknya pusaran saat menuang untuk meminimalisir gelembung udara yang masuk dalam sampel<br>Isi botol sampel hingga benar-benar penuh sampai ke bibir botol untuk mengeluarkan udara.<br>Sampel harus bebas gelembung udara dan tutuplah botol sampel hingga rapat |
| Waktu dan kondisi penyimpanan sampel maksimum | Analisis langsung sesegera mungkin setelah sampel dikumpulkan dan sebaiknya di lapangan, tetapi dalam waktu 6 jam jika sampel didinginkan pada suhu $1-4^{\circ}\text{C}$ , jangan dibekukan.                                                                                   |
| Satuan pengukuran                             | Satuan standar pH                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Metode analisis                               | pH diukur secara elektrokimia menggunakan elektroda kombinasi (kaca dan elektroda referensi) dan dikalibrasi dengan 2 atau 3 larutan buffer yang dijual bebas.<br>Metode elektrpmetrik untuk analisis nilai pH sesuai dengan 4500- $\text{H}^+$ B (APHA, 1998)                  |
| Keterangan                                    | Sebaiknya uji keasaman dilakukan di lapangan ( <i>in situ</i> )                                                                                                                                                                                                                 |

\*botol sampel plastik tidak boleh terbuat dari polietilen densitas rendah (LDPE). Botol plastik yang sesuai adalah yang terbuat dari polietilen densitas tinggi (HDPE), polipropilen, polikarbonat atau fluoropolimer (misal teflon).

### 6.5.3 Turbiditi (kekeruhan)

Bahan tersuspensi dan koloid seperti tanah liat, bahan organik dan anorganik yang sangat halus, plankton, dan organisme kecil lainnya menyebabkan kekeruhan air. Kejernihan badan air diukur melalui pengukuran optik yang membandingkan intensitas cahaya yang dihamburkan oleh sampel air dengan suspensi referensi standar. Ini biasanya dicatat dalam unit kekeruhan nephelometri (NTUs).

Penting untuk diingat bahwa probe kekeruhan *in situ* rentan terhadap kesalahan di perairan yang sangat dangkal (kurang dari 0,5 m). Oleh karena itu, sangat disarankan agar sampel air diambil untuk analisis laboratorium untuk mendapatkan hasil yang paling akurat saat pengujian kekeruhan pada air (Department of Water, 2009).

**Tabel 6.10.** Prosedur sampling pengukuran kekeruhan

|                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Teknik sampling.<br>Gunakan meteran genggam <i>in-situ</i> untuk pengukuran di lapangan | Meteran harus dijaga dalam gerakan lambat melalui kolom air saat pembacaan sedang dilakukan.<br>Biarkan beberapa menit agar pembacaan stabil.<br>Pengukuran menggunakan probe harus dilakukan minimal 1 m di bawah permukaan air dan lebih dalam di perairan jernih untuk memastikan tidak ada pengaruh dari cahaya sekitar. |
| Kondisi sampel untuk analisa laboratorium                                               | Tanpa penyaringan sampel/non sampel filter                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Kondisi sampel                                                                          | Tidak disaring                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Volume                                                                                  | 250 mL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Botol sampel                                                                            | Botol plastik* atau kaca                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

|                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                               | Gunakan botol baru yang sudah dibersihkan                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Teknik sampling                               | <p>Pengumpulan langsung ke dalam botol sampel atau transfer ke dalam botol sampel dari bejana pengumpul.</p> <p>Pastikan botol sampel dibilas tiga kali dengan air sampel (<math>3 \times 20</math> mL) sebelum pengisian.</p> <p>Penting untuk tidak meningkatkan kekeruhan air saat mengumpulkan sampel, dengan tidak mengganggu dasar atau tanaman air.</p> |
| Prosedur pengawetan                           | <p>Simpan wadah dalam gelap</p> <p>Dinginkan pada suhu <math>1-4^{\circ}\text{C}</math>, jangan dibekukan</p>                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Prosedur pengisian botol                      | <p>Hindari terbentuknya pusaran saat menuang untuk meminimalisir gelembung udara yang masuk dalam sampel</p> <p>Isi botol sampel hingga dibawah leher botol.</p>                                                                                                                                                                                               |
| Waktu dan kondisi penyimpanan sampel maksimum | <p>Analisis langsung sesegera mungkin setelah sampel dikumpulkan dan lebih disukai di lapangan (hanya jika memiliki probe pengujian yang akurat), tetapi dalam waktu 24 jam jika sampel didinginkan pada suhu <math>1-4^{\circ}\text{C}</math>. Tetap dingin, jangan dibekukan.</p>                                                                            |
| Satuan pengukuran                             | NTU (nephelometrik turbiditi unit)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Keterangan                                    | Pembekuan harus dihindari, karena dapat menyebabkan perubahan nilai kekeruhan secara permanen.                                                                                                                                                                                                                                                                 |

\*botol sampel plastik tidak boleh terbuat dari polietilen densitas rendah (LDPE). Botol plastik yang sesuai adalah yang terbuat dari polietilen densitas tinggi (HDPE), polipropilen, polikarbonat atau fluoropolimer (misal teflon).

#### 6.5.4 Salinitas

Konsentrasi garam terlarut dalam air perlu dipertimbangkan saat mengukur salinitas air. Secara umum, konsentrasi atau kadar ditulis dalam satuan bagian per seribu (ppt), yang juga dapat diubah menjadi simbol "‰" (per seribu). Berikut merupakan klasifikasi air berdasarkan tingkat salinitasnya:

1. Air tawar memiliki tingkat salinitas kurang dari 5 ‰;
2. Air payau memiliki tingkat salinitas dari 5 ‰ hingga 25 ‰;
3. Air asin memiliki tingkat salinitas dari 25 ‰ hingga 36 ‰; dan
4. Air sangat asin (super-salin, atau hiper-salin) memiliki tingkat salinitas lebih besar dari 36 ‰, merupakan air yang lebih asin daripada air laut.

Secara umum, salinitas laut terbuka berkisar antara 32 ‰ dan 37 ‰ (Department of Water, 2009)

**Tabel 6.11.** Prosedur sampling salinitas

|                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Teknik sampling. Gunakan meteran genggam <i>in-situ</i> untuk pengukuran di lapangan | Meteran harus dijaga dalam gerakan lambat melalui kolom air saat pembacaan sedang dilakukan.<br>Biarkan beberapa menit agar meteran menjadi stabil.<br>Idealnya, pengukuran harus dilakukan sekitar 10 cm di bawah air permukaan (dan kemudian sekitar 10 cm di atas permukaan sedimen); namun, hal ini tidak selalu memungkinkan di perairan dangkal. Jika hal tersebut terjadi, maka pembacaan kolom pertengahan kedalaman air akan cukup. |
| Teknik sampling untuk analisis di                                                    | Tanpa penyaringan sampel/non sampel filter                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

|                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| laboratorium                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Volume                                        | 200 mL                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Botol sampel                                  | Plastik*<br>Gunakan tutup botol yang mengandung teflon<br>Gunakan botol baru yang bersih                                                                                                                                                                                        |
| Teknik sampling                               | Pengumpulan langsung ke dalam botol sampel atau transfer ke dalam botol sampel dari bejana pengumpul.<br>Pastikan botol sampel dibilas tiga kali dengan air sampel ( $3 \times 20$ mL) sebelum pengisian.                                                                       |
| Prosedur pengawetan                           | Simpan pada suhu $1 - 4^{\circ}\text{C}$ , jangan dibekukan                                                                                                                                                                                                                     |
| Prosedur pengisian botol                      | Hindari terbentuknya pusaran saat menuang untuk meminimalisir gelembung udara yang masuk dalam sampel<br>Isi botol sampel hingga benar-benar penuh sampai ke bibir botol untuk mengeluarkan udara.<br>Sampel harus bebas gelembung udara dan tutuplah botol sampel hingga rapat |
| Waktu dan kondisi penyimpanan sampel maksimum | Analisis langsung sesegera mungkin setelah sampel dikumpulkan, tetapi dapat dilakukan dalam waktu 24 jam jika sampel didinginkan pada suhu $1-4^{\circ}\text{C}$ , jangan dibekukan.                                                                                            |
| Satuan pengukuran                             | ppt (part per thousand, ‰)                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Keterangan                                    | Sebaiknya uji salinitas dilakukan di lapangan                                                                                                                                                                                                                                   |

\*botol sampel plastik tidak boleh terbuat dari polietilen densitas rendah (LDPE). Botol plastik yang sesuai adalah yang terbuat dari polietilen densitas tinggi (HDPE), polipropilen, polikarbonat atau fluoropolimer (misal teflon).

### 6.5.5 Konduktivitas listrik

Konduktivitas listrik diukur dengan melewatkan arus antara dua elektroda (jarak yang diketahui terpisah) dalam sampel air. Ini bergantung pada jumlah ion atau partikel bermuatan yang ada di dalam air. Konduktivitas listrik diukur dalam unit mikro Siemens per sentimeter ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) atau mili Siemens per sentimeter ( $\text{mS}/\text{cm}$ ).

Dalam studi bidang akuatik, pengukuran konduktivitas listrik memungkinkan pengukuran langsung bahan ionik terlarut dalam air. Kualitas perairan yang tinggi dan nutrisi yang rendah dikenal sebagai nilai rendah. Nilai konduktansi yang tinggi tidak hanya terlihat di saluran air eutrofik, di mana nutrisi tanaman (pupuk) sangat banyak, tetapi juga merupakan sinyal yang baik untuk kemungkinan lokasi tercemar. Pelepasan langsung atau sumber polusi lain ke dalam air dapat ditunjukkan oleh perubahan tiba-tiba dalam konduktivitas listrik. Tetapi pembacaan konduktivitas listrik tidak menunjukkan komposisi atau konsentrasi ion tertentu di dalam air (Department of Water, 2009).

**Tabel 6.12.** Prosedur sampling untuk konduktivitas listrik

|                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Teknik sampling. Gunakan meteran genggam <i>in-situ</i> untuk pengukuran di lapangan | Meteran harus dijaga dalam gerakan lambat melalui kolom air saat pembacaan sedang dilakukan. Biarkan beberapa menit agar meteran menjadi stabil. Idealnya, pengukuran harus dilakukan sekitar 10 cm di bawah air permukaan (dan kemudian sekitar 10 cm di atas permukaan sedimen); namun, hal ini tidak selalu memungkinkan di perairan dangkal. Pembacaan kolom pada kedalaman pertengahan akan cukup dalam kasus ini. |
| Teknik sampling untuk analisis di laboratorium                                       | Tanpa penyaringan sampel/non sampel filter                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Volume                                                                               | 125 ml                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Botol sampel                                                                         | Plastik*                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

|                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                               | Gunakan tutup botol yang mengandung teflon<br>Gunakan botol baru yang bersih                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Teknik sampling                               | Pengumpulan langsung ke dalam botol sampel atau transfer ke dalam botol sampel dari bejana pengumpul.<br>Pastikan botol sampel dibilas tiga kali dengan air sampel ( $3 \times 20$ mL) sebelum pengisian.                                                                                                                                               |
| Prosedur pengawetan                           | Simpan pada suhu $1 - 4^{\circ}\text{C}$ , jangan dibekukan                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Prosedur pengisian botol                      | Hindari terbentuknya pusaran saat menuang untuk meminimalisir gelembung udara yang masuk dalam sampel<br>Isi botol sampel hingga benar-benar penuh sampai ke bibir botol untuk mengeluarkan udara. Sampel harus bebas gelembung udara dan tutuplah botol sampel hingga rapat                                                                            |
| Waktu dan kondisi penyimpanan sampel maksimum | Analisis langsung sesegera mungkin setelah sampel dikumpulkan, tetapi dapat dilakukan dalam waktu 24 jam jika sampel memiliki nilai konduktivitas rendah, kurang dari $20\mu\text{S}/\text{cm}$<br>Sampel dapat disimpan selama satu bulan jika disimpan dalam botol tertutup rapat dan didinginkan pada suhu $1-4^{\circ}\text{C}$ , jangan dibekukan. |
| Satuan pengukuran                             | $\mu\text{S}/\text{cm}$ atau $\text{mS}/\text{cm}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Metode analisis                               | Konduktivitas diukur secara elektrometrik dengan (atau tanpa) kompensasi suhu dan dikalibrasi terhadap larutan standar kalium klorida. Metode Pengukuran Konduktivitas 2510 (APHA, 1998).                                                                                                                                                               |
| Keterangan                                    | Sebaiknya uji konduktivitas dilakukan di lapangan                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

\*botol sampel plastik tidak boleh terbuat dari polietilen densitas rendah (LDPE). Botol plastik yang sesuai adalah yang terbuat dari polietilen densitas tinggi (HDPE), polipropilen, polikarbonat atau fluoropolimer (misal teflon).

### 6.5.6 Oksigen terlarut

Analisis oksigen terlarut adalah cara untuk mengetahui berapa banyak gas oksigen ( $O_2$ ) yang terlarut dalam larutan berair. Oksidan terlarut dalam air melalui difusi dari udara sekitar, fotosintesis (gerakan cepat), dan aerasi. Analisis oksigen terlarut harus segera dilakukan di lokasi tersebut. Akibatnya, uji lapangan ini harus dilakukan di lokasi.

Salah satu cara untuk menunjukkan oksigen terlarut adalah sebagai konsentrasi (dalam mg/L), nilai absolut, atau persentase saturasi. Persentase saturasi menunjukkan proporsi oksigen terlarut dalam air relatif terhadap konsentrasi maksimum oksigen pada air pada suhu, tekanan, dan kadar garam tertentu. Suhu air memengaruhi jumlah oksigen terlarut dalam air; air yang lebih dingin memiliki kapasitas untuk membawa lebih banyak oksigen terlarut daripada air yang lebih hangat. Konsentrasi maksimum air disebut jenuh, atau pada saturasi seratus persen oksigen terlarut, saat berada dalam kesetimbangan dengan atmosfer (Department of Water, 2009)

**Tabel 6.13.** Prosedur sampling pengukuran kadar oksigen dalam air

|                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Teknik sampling.<br>Gunakan meteran genggam <i>in-situ</i> untuk pengukuran di lapangan | Meteran harus dijaga dalam gerakan lambat melalui kolom air saat pembacaan sedang dilakukan.<br>Hindari terbentuknya pusaran untuk meminimalisir gelembung udara dalam air, di dekat sel pengukuran.<br>Biarkan beberapa menit agar meteran menjadi stabil.<br>Idealnya, pengukuran harus dilakukan sekitar 10 cm di bawah air permukaan (dan kemudian sekitar 10 cm di atas permukaan sedimen); namun, hal ini tidak selalu memungkinkan di |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                   |                                                                                          |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
|                   | perairan dangkal. Pembacaan kolom pada kedalaman pertengahan akan cukup dalam kasus ini. |
| Satuan pengukuran | Mg/L (konsentrasi oksigen terlarut) atau % (saturasi)                                    |
| Keterangan        | Pengujian ini harus dilakukan di lapangan                                                |

## 6.6 Pengawetan sampel

Pengawetan sampel air adalah prosedur yang diterapkan pada sampel air untuk memastikan bahwa kualitas air tidak berubah selama transportasi dari lokasi sampling ke laboratorium dan selama penyimpanan di laboratorium untuk analisis. Metode pengawetan untuk setiap parameter berbeda-beda, tergantung pada sifat parameter yang ada di dalam air. Proses pengawetan sampel air dilakukan dengan tujuan agar senyawa kimia yang akan diuji tidak berubah selama penyimpanan. Untuk mengetahui metode pengawetan sampel air, harus diketahui sifat setiap senyawa kimia yang ada di dalam air.

Semua orang tahu bahwa air di alam selalu mengandung bahan-bahan atau senyawa kimia tersuspensi atau tidak larut (seperti kekeruhan, natrium klorida, dll.), senyawa kimia terlarut (seperti mineral, CO<sub>2</sub> terlarut), dan gas yang terdispersi (seperti oksigen atau CO<sub>2</sub> terlarut). Sifat-sifat senyawa kimia ini berbeda satu sama lain karena perubahan fisik air (seperti temperatur dan tekanan).

Oleh karena itu, senyawa yang ada dalam air termasuk dalam tiga kategori:

1. Senyawa kimia atau molekul kimia yang ada dalam air dan agak stabil dan tidak mudah berubah selama beberapa waktu. Sampelnya adalah parameter natrium, kalium, kalsium, magnesium kloride atau sulfat.
2. Senyawa kimia yang dalam air, mudah berubah kondisinya. Perubahan fisik air menyebabkan perubahan konsentrasi

senyawa atau molekul kimia yang cepat terjadi. Gas yang terlarut dalam air, seperti oksigen terlarut dan gas klorin sebagai disinfektan, akan berubah karena perubahan temperatur dan tekanan air. Oleh karena itu, tidak perlu diawetkan. Untuk mengukur parameter tersebut, pengukuran harus dilakukan sesegera mungkin dan di lapangan; pengawetan sampel air tidak dapat dilakukan karena tidak praktis. Parameter umum lapangan yang diukur, termasuk temperatur, oksigen terlarut, pH, daya hantar listrik (konduktifitas), asidi-alkalinitas, dan sisa klor untuk air bersih (PDAM).

3. Senyawa kimia atau molekul kimia yang mudah berubah tetapi dapat disimpan dengan waktu penyimpanan yang terbatas.

Untuk setiap parameter pengukuran, ada metode pengawetan sampel air dan waktu penyimpanannya yang berbeda. Pengukuran amonia misalnya, harus dilakukan pengukuran setelah sampel disimpan maksimal 28 hari dengan kondisi sampel telah diasamkan dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat sampai pH 2.

Tabel berikut merupakan beberapa cara pengawetan sampel air berdasarkan SNI (2008).

**Tabel 6.14.** Cara pengawetan dan penyimpanan sampel air

| No | Parameter            | Botol penyimpanan | Volume minimum sampel yang diperlukan | Pengawetan                                                                              | Lama penyimpanan maksimum yang dianjurkan | Lama penyimpanan maksimum menurut EPA |
|----|----------------------|-------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|
| 1  | Asiditas             | P, G (B)          | 100                                   | pendinginan                                                                             | 24 jam                                    | 14 hari                               |
| 2  | Alkalinitas          | P, G              | 200                                   | pendinginan                                                                             | 24 jam                                    | 14 hari                               |
| 3  | BOD                  | P, G              | 1000                                  | pendinginan                                                                             | 6 jam                                     | 2 hari                                |
| 4  | Boron                | P                 | 100                                   | Tambahkan HNO <sub>3</sub> sampai pH<2, dinginkan                                       | 28 hari                                   | 6 bulan                               |
| 5  | Total organik karbon | G                 | 100                                   | Pendinginan dan ditambahkan HCl sampai pH<2                                             | 7 hari                                    | 28 hari                               |
| 6  | Karbondioksida       | P, G              | 100                                   | Langsung dianalisa                                                                      | -                                         | -                                     |
| 7  | COD                  | P, G              | 100                                   | Analisa secepatnya atau tambahkan H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> sampai pH<2, dinginkan | 7 hari                                    | 28 hari                               |
| 8  | Minyak dan           | G, bermulut       | 1000                                  | Tambahkan                                                                               | 28 hari                                   | 28 hari                               |

| No | Parameter           | Botol penyimpanan     | Volume minimum sampel yang diperlukan | Pengawetan                                                                                     | Lama penyimpanan maksimum yang dianjurkan | Lama penyimpanan maksimum menurut EPA               |
|----|---------------------|-----------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
|    | lemak               | lebar dan dikalibrasi |                                       | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> sampai pH<2, dinginkan                                          |                                           |                                                     |
| 9  | Bromida             | P, G                  | -                                     | Tanpa diawetkan                                                                                | 28 hari                                   | 28 hari                                             |
| 10 | Sisa klor           | P, G                  | 500                                   | Segera dianalisa                                                                               | 0,5 jam                                   | 0,5 jam                                             |
| 11 | Klorofil            | P, G                  | 500                                   | Ditempat gelap                                                                                 | 30 hari                                   | 30 hari                                             |
| 12 | Total sianida       | P, G                  | 500                                   | Ditambahkan NaOH sampai pH > 12, dinginkan di tempat gelap                                     | 24 jam                                    | 14 hari (24 jam jika terdapat sulfida dalam sampel) |
| 13 | Fluorida            | P                     | 300                                   | Tanpa diawetkan                                                                                | 28 hari                                   | 28 hari                                             |
| 14 | Iodin               | P, G                  | 500                                   | Segera dianalisa                                                                               | 0,5 jam                                   | 0,5 jam                                             |
| 15 | Logam (secara umum) | P (A), G (A)          | -                                     | Untuk logam-logam terlarut sampel air segera di saring, tambahkan HNO <sub>3</sub> sampai pH<2 | 6 bulan                                   | 6 bulan                                             |

| No | Parameter                | Botol penyimpanan | Volume minimum sampel yang diperlukan | Pengawetan                                                                       | Lama penyimpanan maksimum yang dianjurkan | Lama penyimpanan maksimum menurut EPA        |
|----|--------------------------|-------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------|
|    | Kromium VI               | P (A), G (A)      | 300                                   | Dinginkan                                                                        | 24 jam                                    | 1 hari                                       |
|    | Air raksa                | P (A), G (A)      | 500                                   | Tambahkan $\text{HNO}_3$ sampai pH<2, dinginkan                                  | 28 hari                                   | 28 hari                                      |
| 16 | Amonia-Nitrogen          | P, G              | 500                                   | Analisa secepatnya atau tambahkan $\text{H}_2\text{SO}_4$ sampai pH<2, dinginkan | 7 hari                                    | 28 hari                                      |
| 17 | Nitrat-Nitrogen          | P, G              | 100                                   | Analisa secepatnya atau dinginkan                                                | 48 jam                                    | 2 hari (28 hari jika sampel air diklorinasi) |
| 18 | Nitrat+Nitrit            | P, G              | 200                                   | Tambahkan $\text{H}_2\text{SO}_4$ sampai pH<2, dinginkan                         | -                                         | 28 hari                                      |
| 19 | Nitrogen organik, Kjedal | P, G              | 500                                   | Dinginkan; tambahkan $\text{H}_2\text{SO}_4$ sampai                              | 7 hari                                    | 28 hari                                      |

| No | Parameter        | Botol penyimpanan | Volume minimum sampel yang diperlukan | Pengawetan                                                      | Lama penyimpanan maksimum yang dianjurkan | Lama penyimpanan maksimum menurut EPA |
|----|------------------|-------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|
|    |                  |                   |                                       | pH<2                                                            |                                           |                                       |
| 20 | Nitrit-Nitrogen  | P, G              | 100                                   | Analisa secepatnya atau dinginkan                               | -                                         | 2 hari                                |
| 21 | Phenol           | P, G              | 500                                   | Dinginkan; tambahkan H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> sampai pH<2 | -                                         | 28 hari                               |
| 22 | Oksigen terlarut | G botol BOD       | 300                                   |                                                                 |                                           |                                       |
|    | Dengan elektroda |                   |                                       | Langsung dianalisa                                              | -                                         | 0,25 jam                              |
|    | Metode Winkler   |                   |                                       | Titrasi dapat ditunda setelah sampel diasamkan                  | 8 jam                                     | 8 jam                                 |
| 23 | Ozon             | G                 | 1000                                  | Segera dianalisa                                                | 0,5 jam                                   | 0,5 jam                               |
| 24 | pH               | P, G              | -                                     | Segera dianalisa                                                | 2 jam                                     | 2 jam                                 |

| No | Parameter | Botol penyimpanan | Volume minimum sampel yang diperlukan | Pengawetan                                                                            | Lama penyimpanan maksimum yang dianjurkan | Lama penyimpanan maksimum menurut EPA |
|----|-----------|-------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|
| 25 | Fosfat    | G (A)             | 100                                   | Untuk fosfat terlarut segera disaring, dinginkan                                      | 48 jam                                    |                                       |
| 26 | Salinitas | P                 | -                                     | Dinginkan, jangan dibekukan                                                           | -                                         | 6 bulan                               |
| 27 | Sulfat    | P, G              | -                                     | dinginkan                                                                             | 28 hari                                   | 28 hari                               |
| 28 | Sulfida   | P, G              | 100                                   | Dinginkan, tambahkan 4 tetes 2N seng asetat/100 mL sampel; tambahkan NaOH sampai pH>9 | 28 hari                                   | 7 hari                                |
| 29 | Pestisida | G (S)             | -                                     | Dinginkan, tambahkan 1000                                                             | 7 hari                                    | 7 hari untuk ekstraksi; 40            |

| No                                                                           | Parameter                                     | Botol penyimpanan                        | Volume minimum sampel yang diperlukan | Pengawetan                                                                                                           | Lama penyimpanan maksimum yang dianjurkan | Lama penyimpanan maksimum menurut EPA |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|
|                                                                              |                                               |                                          |                                       | mg asam askorbat per liter sampel jika terdapat klorin                                                               |                                           | hari setelah diekstraksi              |
| 30                                                                           | VOC                                           | G, Teflon line cap                       | 40                                    | Dinginkan pada suhu $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , 0,008% $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ disesuaikan | 14 hari                                   |                                       |
| 31                                                                           | Senyawa aromatik dan akrilin dan akrilonitril | G                                        | 1000                                  | Dinginkan pada suhu $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$                                                        | 3 hari                                    | 24 jam                                |
| Keterangan:<br>Dinginkan pada suhu $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ |                                               |                                          |                                       |                                                                                                                      |                                           |                                       |
| P                                                                            | :                                             | Plastik (polietilen atau sejenisnya)     |                                       |                                                                                                                      |                                           |                                       |
| G (A)                                                                        | :                                             | Gelas dicuci dengan 1 + 1 $\text{HNO}_3$ |                                       |                                                                                                                      |                                           |                                       |

| No    | Parameter | Botol penyimpanan                            | Volume minimum sampel yang diperlukan | Pengawetan | Lama penyimpanan maksimum yang dianjurkan | Lama penyimpanan maksimum menurut EPA |
|-------|-----------|----------------------------------------------|---------------------------------------|------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|
| P (A) | :         | Plastik dicuci dengan 1 + 1 HNO <sub>3</sub> |                                       |            |                                           |                                       |
| G (S) | :         | Gelas dicuci dengan pelarut organik          |                                       |            |                                           |                                       |

## 6.7 Pengemasan dan pengangkutan sampel ke laboratorium

### 6.7.1 Pengemasan sampel

Kerusakan, kebocoran, atau tumpahan harus dihindari saat sampel diangkut. Beberapa hal yang perlu diingat ketika melakukan pengemasan sampel adalah wadah sampel harus dikemas dalam posisi tegak sehingga tidak jatuh atau bocor; oleh karena itu, setiap ruang ekstra harus ditutup dengan lembaran plastik atau bahan lembam lainnya. Jika pengambilan sampel ultra-trace dilakukan, kantong sampel harus digandakan untuk melindunginya dari kontaminasi silang dari kebocoran dan es yang mencair (Gambar 6.3). Botol kaca dan keramik harus dibungkus dalam “bubble wrap” atau diberi gabus penahan. Kotak penyimpanan harus diberi label “mudah pecah” jika berisi botol kaca dan gunakan stiker “simpan dalam kondisi dingin” jika diperlukan



**Gambar 6.6.** Contoh pengemasan sampel dengan kantong sampel ganda. (Sumber: Queensland Government, 2018)

1. Sampel yang membutuhkan pendinginan.

Untuk membuatnya mendingin dengan cepat saat pertama kali diambil, tempatkan sampel di lemari es portabel yang telah didinginkan sebelumnya. Jika perlu, bungkus sampel dengan es serut dengan kantong ganda.

Ingatlah ini: Jangan letakkan es di atas wadah sampel karena es yang meleleh dapat menyebabkan kontaminasi. Tutup wadah sampel harus berada di atas es. Jika Anda menggunakan es untuk mendinginkan sampel, kemas kembali ke dalam kotak pendingin dengan es batu beku setelah dua jam didinginkan. Ini menghindari kontaminasi sampel oleh es yang meleleh.

2. Sampel yang membutuhkan proses pembekuan

Untuk sampel yang harus membeku segera setelah dikumpulkan, freezer portabel pra-dingin adalah pilihan terbaik. Es kering adalah opsi lain jika itu tidak mungkin.

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan saat menggunakan es kering: Es kering tersedia dalam bentuk blok dan pelet; yang pertama lebih disukai karena dapat dikemas lebih dekat dengan sampel. Kombinasi blok dan pelet juga dapat digunakan, pelet diletakkan di sebelah wadah sampel. Pemasok es kering juga dapat ditemukan melalui telepon atau melalui pencarian online.

Catatan: Mengangkut es kering di dalam mobil dengan semua jendela tertutup berbahaya. Jika freezer atau es kering tidak tersedia, sampel dapat dibekukan dengan mengelilinginya dengan bubur es yang dihancurkan dicampur dengan garam rumah tangga biasa (NaCl). Zat tersebut dapat membantu proses pembekuan dengan mencapai suhu 0°C dengan cepat.

### **6.7.2 Pengangkutan sampel**

Pengangkutan sampel perlu diatur terlebih dahulu, untuk memastikan sampel tiba di laboratorium tepat waktu, dalam kondisi yang ditentukan oleh laboratorium dan dengan ketertelusuran utuh. Jika menggunakan kurir komersial, diskusikan kerangka waktu pengiriman, untuk memastikan sampel tiba sebelum waktu penahanan maksimum yang disarankan telah berakhir. Periksa sampel secara teratur untuk memastikan bahwa sampel tersebut tidak "ditahan" (Queensland Government, 2018). Saat menyiapkan pengambilan sampel, pastikan setiap kotak pendingin atau peralatan pendingin telah dibersihkan secara menyeluruh dengan peralatan pembersih yang sesuai. Misalnya, jika kotak pendingin telah digunakan untuk memanggang ikan, dan kemudian digunakan untuk menyimpan sampel yang dikumpulkan untuk nitrogen atau fosfor, sisa zat berbau dari ikan (seperti amonia) dapat menembus dinding wadah, bahkan jika wadahnya terbuat dari polietilen densitas tinggi (HDPE) (Queensland Government, 2018).

Pilihan transportasi dapat meliputi pengiriman pribadi atau dikirim melalui pengangkut komersial (seperti transportasi darat atau kargo udara). Operator komersial memiliki peraturan pengiriman, pastikan kemasan dan pelabelan sampel memenuhi persyaratan (Queensland Government, 2018).

### **6.7.3 Ketertelusuran dokumen**

Mencatat informasi tentang sampel termasuk tanggal, waktu, identifikasi sampel (ID), matriks sampel, jenis preservasi, dan analisis yang diperlukan. Yang paling penting mereka memberikan catatan siapa yang telah menyimpan sampel dari pengambilan sampel lapangan hingga pengiriman di laboratorium. Setiap laboratorium memiliki sistem ketertelusuran mereka sendiri, yang harus diperoleh sebelum pengambilan sampel. Dokumen tertelusur harus ditandatangani setiap kali seseorang

menyerahkan sampel kepada orang lain, dan harus mencantumkan nama lengkap dan jabatan orang yang menerima sampel.

Jika sampel digunakan untuk proses hukum, calon petugas properti dan daftar sampel harus dipilih dengan hati-hati agar tidak ada risiko interferensi sampel yang signifikan antara waktu pengambilan sampel dan waktu analisisnya. Ini membutuhkan sistem yang direncanakan dengan baik untuk keamanan sampel, yang mencakup tindakan pencegahan untuk menunjukkan gangguan setelah analisis menerimanya. Perlu dicatat tanggal dan waktu transfer serta kepada siapa. Keamanan sampel sangat penting jika sampel dikirim melalui perusahaan kurir daripada dikirim langsung ke analisis atau laboratorium. Pastikan laboratorium yang menerima sampel mengetahui bahwa sampel mungkin diperlukan untuk proses hukum dan bahwa sampel tersebut ditangani dengan benar. Risiko dan masalah ketertelusuran meningkat dengan frekuensi sampel yang ditangani (Queensland Government, 2018).

## DAFTAR PUSTAKA

- Andrews, K. a. 1987. *Environmental Science and Technology*. Wiley and Sons Inc: New York.
- Gnanavelu, A. 2008, May 23. Water Sampling and Preservation Techniques. Bangalore, Karnataka, India.
- Government, Q. 2009. Sampling Design and Preparation. In Q. Government, *Environmental Protection (Water) Policy-Monitoring and Sampling Manual* (pp. 1-9). Queensland: Queensland Government.
- Government, Q. 2018. Water Quality Sampling Using In Situ Water Quality Instrument. In Q. Government, *Environmental Protection (Water) - Monitoring and Sampling Manual* (pp. 1-4). Queensland: Queensland Government.
- Januar, H. I. 2018. Sampling Design for Water Quality Monitoring in Marine Reserve: A Study Case at Banda Sea Conservation Park. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 296-300.
- Lingkungan, D. I. 2014. Metode Sampling. In D. I. Lingkungan, *Modul Laboratorium Lingkungan TL-3103* (pp. 1-12). Surakarta: UNS Press.
- Nasional, B. S. 1991. Metode Pengambilan Contoh Kualitas Air. In B. S. Nasional, *Standar Nasional Indonesia 06-2412-1991* (pp. 1-40). Jakarta: BSN.
- Nasional, B. S. 2008. Air dan Air Limbah-bagian 57 Metode pengambilan contoh air permukaan. In B. S. Nasional, *SNI 6989.57:2008* (pp. 1-23). Jakarta: BSN.
- Nasional, B. S. 2008. Air dan Air Limbah-bagian 58: Metode pengambilan contoh air tanah. In B. S. Nasional, *Standar Nasional Indonesia* (pp. 1-24). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

- Nasional, B. S. 2008. Air dan Air Limbah-Bagian 59: Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah. In B. S. Nasional, *Standar Nasional Indonesia* (pp. 1-23). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Standardization, I. O. 2006. Water Sampling Procedure. In I. S. Oraganization, *Water quality — Sampling Standard* (p. 17). Jenewa: ISO.
- Tovar-Sanchez, A. 2012. Sampling Approaches for Trace Element Determination in Seawater. In A. Tovar-Sanchez, *Comprehensive Sampling and Sample Preparation* (pp. 317-333). Mallorca Spanyol: Elsevier Inc.
- Water, D. o. 2009. Standard operating procedures for water sampling method and analysis. In D. o. water, *Surface water sampling method and analysis - technical appendices* (pp. 1-59). Perth: Government of Western Australia.

# **BAB 7**

## **ANALISIS KUALITAS UDARA**

*Oleh Erma Suryani Sahabuddin*

### **7.1 Pendahuluan**

Kebutuhan udara jauh lebih penting dibandingkan dengan kebutuhan makanan dan air, selain itu volume udara yang dibutuhkan lebih banyak. Bayangkan dalam waktu 5 menit tidak ada kontak dengan udara (khususnya oksigen), manusia sudah mati. Kalimat di atas merupakan pernyataan yang mengingatkan kita betapa bergunanya udara, bukan hanya udara biasa, melainkan udara bersih dalam jumlah yang cukup yang berfungsi sebagai penunjang kehidupan, baik manusia, hewan maupun tumbuhan. (Tri Cahyono 2017). Sehubungan dengan kebutuhan udara, ini berarti 1,57 liter oksigen dikonsumsi per menit selama istirahat dan 3.14 liter selama kerja normal. Sistem atmosfer yang mengelilingi bumi juga termasuk udara, yang fungsinya sangat menentukan bagi kehidupan di planet ini. Baru-baru ini, kualitas udara yang kita hirup saat ini semakin menurun, terutama akibat aktivitas manusia (selain aktivitas alam) (Deli Syaputri 2023)

Udara adalah campuran gas yang terdapat di permukaan bumi. Dalam kondisi kering, udara mengandung gas tambahan termasuk karbon dioksida bersama dengan 78% nitrogen, 21% oksigen, dan 1% uap air. Pada ketinggian tertentu, udara akan memiliki komposisi yang berbeda dan berubah sesuai dengan kondisi tersebut. Udara yang tercemar didefinisikan memiliki komposisi yang berbeda dari udara alami. Kehidupan tidak dapat efektif jika udara yang terkontaminasi yang berada dalam kondisi berbahaya (Amiroh, Permata & Rahmanti 2019). Keberadaan manusia dan makhluk hidup lainnya bergantung pada udara.

Sekitar 78% udara adalah Nitrogen; 20% Oksigen; 0,9% Argon; 0,03% Karbon Dioksida ( $\text{CO}_2$ ), dan gas lainnya termasuk Neon (Ne), Helium (He), Metana ( $\text{CH}_4$ ), dan Hidrogen ( $\text{H}_2$ ). Jika komposisi udara seperti yang dijelaskan di atas, maka udara dianggap “Normal” dan mampu mendukung kehidupan manusia. Adanya gas tambahan yang mengganggu komposisi udara dan menimbulkan polusi (Wardhani 2019).

## 7.2 Konsep Dasar Udara

Komposisi campuran gas tidak selalu konstan. Banyak gas, termasuk oksigen, karbon dioksida, argon, nitrogen, dan uap air, terdapat di udara yang masuk ke dalam tubuh. Dari segi massa, oksigen adalah unsur kimia yang paling banyak terdapat di biosfer bumi, udara, laut, dan tanah. Setelah hidrogen dan helium, oksigen adalah unsur kimia paling umum ketiga di alam semesta. Oksigen membentuk sekitar 0,9% dari massa Matahari. Sekitar 49,2% dari massa kerak bumi terdiri dari oksigen, yang merupakan 88,8% dari massa lautan. Unsur paling umum kedua di atmosfer bumi adalah gas oksigen, yang membentuk 21,0% volume dan 23,1% massa (atau sekitar 1015 ton) atmosfer. Siklus oksigen bertanggung jawab atas jumlah gas oksigen yang sangat tinggi di Bumi. Pengangkutan oksigen di dalam dan di antara atmosfer, biosfer, dan litosfer dijelaskan oleh siklus biogeokimia ini. Fotosintesis adalah faktor utama yang mendorong siklus oksigen ini. Sementara respirasi dan pembusukan menghilangkan oksigen dari atmosfer, fotosintesis melepaskannya ke atmosfer. Dalam keadaan setimbang, laju produksi dan konsumsi oksigen kira-kira 1/2000 dari jumlah total oksigen di atmosfer setiap tahun (Purba & Harefa 2019). Manusia membutuhkan oksigen untuk mempertahankan proses respirasi seluler. Salah satu unsur gas, oksigen ( $\text{O}_2$ ), berperan penting dalam semua proses metabolisme yang menjaga fungsi tubuh manusia (Imelda 2009). Menurut (Nikmawati, Windarwati & Hardjoeno 2005), sel membutuhkan oksigen untuk

mengubah glukosa menjadi energi untuk berbagai proses, termasuk aktivitas fisik, penyerapan makanan, pembentukan kekebalan, pemulihan kondisi tubuh, dan penghancuran beberapa produk sisa metabolisme yang beracun. Hipoksia, suatu kondisi yang ditandai dengan kekurangan oksigen, dapat mengganggu metabolisme, mengakibatkan kematian jaringan, dan berpotensi menimbulkan risiko yang mengancam jiwa. Banyak penyakit, termasuk keterbelakangan mental pada *down syndrome* dan kerusakan batang otak (traumatic brain injury), dapat disebabkan oleh kekurangan oksigen. Anak-anak yang mengalami kekurangan oksigen biasanya mengalami ketidakmampuan belajar, ketidakmampuan untuk fokus, dan masalah keseimbangan dan koordinasi tubuh yang disebabkan oleh polusi udara.

### **7.2.1 Pengertian Pencemaran Udara**

Menurut Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara (Indonesia 1999), pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga kualitas udara ambien menurun sampai tingkat tertentu, dan mencegah udara ambien tidak dapat menjalankan fungsinya. Pengendalian pencemaran udara adalah upaya pencegahan dan/atau pengendalian pencemaran udara serta pemulihan udara ambien. Kualitas udara menurun akibat aktivitas manusia. Sifat fisik atau kimia dapat berubah sebagai akibat dari pergeseran kualitas ini. Perubahan kimia terkadang dikenal sebagai polusi udara, dapat terjadi ketika satu atau lebih unsur kimia di udara meningkat atau menurun (Wardhani 2019). Agar dapat dideteksi oleh manusia (atau untuk dihitung dan diukur) dan berdampak pada manusia, hewan, flora, dan material, zat atau substrat fisik atau kimia harus ditambahkan ke lingkungan udara biasa pada tingkat tertentu. Adanya kontaminan di atmosfer akibat aktivitas manusia (*man made*) adalah definisi lain dari polusi udara. Selain itu, polusi udara didefinisikan sebagai perubahan atmosfer yang

disebabkan oleh penambahan kontaminan alami atau buatan manusia ke lingkungan (Mukono 2008). Kehadiran kontaminan fisik, kimia, atau biologis di atmosfer dalam jumlah dan konsentrasi yang membahayakan kesehatan manusia, hewan, dan tumbuhan disebut sebagai polusi udara (U.S. EPA (A 2007)). Pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, makhluk hidup atau komponen lain ke dalam udara ambien sehingga dapat mengubah susunan udara normal yang disebabkan oleh kegiatan manusia atau proses alam, sehingga kualitas udara ambien menurun dan tidak dapat berfungsi sesuai peruntukannya (Keputusan Menteri Lingkungan Hidup 1988). Polutan udara yang telah lama dikenal sangat berbahaya bagi keseimbangan lingkungan termasuk yang secara langsung mempengaruhi manusia (seperti merusak fungsi paru-paru) maupun yang langsung mempengaruhi alam (seperti mengganggu keharmonisan hutan, pertanian, dan perairan), baik yang terjadi secara alami maupun yang diciptakan oleh manusia). Karena polutan diciptakan melalui serangkaian interaksi rumit yang melibatkan bahan kimia organik yang mudah menguap daripada melalui pelepasan langsung ke lingkungan, maka sulit untuk mengendalikannya. Dalam keadaan meteorologi tertentu, konsentrasi polutan dapat meningkat (Schreiber 1996).

### **7.2.2 Penyebab Pencemaran Udara**

Secara umum, ada dua kategori besar yang menjadi sumber polusi udara: (U.S. EPA (A 2007)).

#### **1) Perilaku Manusia**

- a. Kendaraan bermotor termasuk sumber bergerak.
- b. Debu dan pembakaran yang disengaja atau tidak disengaja.
- c. Cat, hairspray, dan uap semprotan aerosol.
- d. Sedimen TPA dari sampah, yang menghasilkan metana. Kesulitan bernapas dapat terjadi akibat metana.

- e. Teknologi militer termasuk gas beracun, peroketan, dan senjata nuklir.
- 2) Sumber Daya Organik
- a. Debu yang dihasilkan oleh peristiwa alam seperti letusan gunung berapi.
  - b. Hewan seperti sapi melepaskan metana sebagai produk sampingan dari pencernaan makanan.
  - c. Asap dan karbon monoksida dari kebakaran alami.
  - d. Aktivitas vulkanik, yang menghasilkan belerang dan klorin.

Macam-macam pencemaran udara yang ada menurut Soedomo (2001), tergantung klasifikasinya, antara lain:

- 1) Berdasarkan sifat fisiknya, pencemar dapat berupa:
  - a. Partikel (debu dan partikel lain yang terlihat)
  - b. Gas (CO, NO<sub>x</sub> dan SO<sub>x</sub>)
  - c. Energi (kebisingan)
- 2) Mengingat timbulnya polutan, khususnya:
  - a. Polutan primer adalah polutan yang dipancarkan langsung oleh sumbernya sendiri.
  - b. Polutan sekunder adalah polutan yang dipancarkan langsung oleh sumbernya sendiri.
- 3) Berdasarkan pola emisi pencemar, khususnya:
  - a. Sumber titik (*point source*) seperti cerobong asap, adalah sumber stasioner.
  - b. Sumber bergerak yang berasal dari kendaraan bermotor disebut sumber garis (*line source*).
  - c. Sumber lokal (*area source*) adalah yang berasal dari pembakaran terbuka di pedesaan, pinggiran kota, dan daerah lain.

Dalam keadaan tertentu, polusi udara dapat mengandung satu atau lebih kontaminan yang tersebar ke atmosfer sebagai gas,

cairan, atau padatan dan kemudian mencemari lingkungan di sekitarnya. Kondisi geografis dan meteorologi setempat menentukan seberapa cepat penyebaran polutan di suatu wilayah tertentu (Sugiarti 2019). Secara umum, ada dua kategori sumber pencemaran udara, yaitu: dihasilkan dari kekuatan internal dan eksternal.

a. Faktor internal (secara alamiah)

Dapat berkontribusi terhadap polusi udara, termasuk penguraian limbah biologis, debu yang terbawa angin, abu vulkanik dan gas yang dikeluarkan selama letusan, dan lain-lain.

1) Suhu

Polutan di atmosfer dapat menumpuk dan tidak menyebar karena suhu. Pencemaran udara cenderung lebih tinggi pada musim kemarau karena tidak ada pengenceran polutan di udara karena udara lebih kering, suhu cenderung naik, dan angin bertiup lebih lambat dibandingkan musim hujan (Prabowo & Muslim 2018). Konsentrasi polutan akan menurun akibat udara yang semakin renggang akibat suhu udara yang tinggi. Terutama pada musim kemarau yang jarang hujan, suhu udara yang tinggi akan menyebabkan polutan di udara membuat partikel menjadi lebih kering dan lebih ringan sehingga bertahan lebih lama di udara (Prabowo & Muslim 2018).

2) Kelembaban

Jumlah uap air di udara disebut sebagai kelembaban udara. Karena beberapa partikel pencemar seperti debu, akan bercampur dengan air di udara untuk menghasilkan partikel yang lebih besar, yang kemudian lebih mudah dibawa ke permukaan bumi oleh kekuatan alam, kondisi udara lembab akan membantu

pengendapan pencemar. bumi kembali (Prabowo & Muslim 2018).

3) Angin

Polutan di udara ditransmisikan ke tempat lain oleh kecepatan angin di satu area. Kecepatan angin berbanding terbalik dengan konsentrasi polutan CO yang dihasilkan, menurut Noviani *et al.*, (2013) dalam Wirosoedarmo *et al.*, (2020). Artinya semakin tinggi kecepatan angin yang bertiup maka konsentrasi CO semakin rendah, karena konsentrasi pencemar CO tersebar ke segala arah. Selain itu, kecepatan angin kencang yang melewati suatu area menyebabkan konsentrasi CO di area tersebut hilang sehingga konsentrasi CO berkurang dan dalam pengukuran cenderung lebih rendah, klaim Sutiawan *et al.*, (2016) dalam Wirosoedarmo *et al.*, (2020).

4) Hujan

Hujan didefinisikan oleh Atmaja (dalam Kartasapoetra, 2012) sebagai presipitasi cair, berbeda dengan jenis presipitasi non-cair seperti salju, es, dan hujan es. Untuk memenuhi suhu di dekat dan di atas permukaan bumi yang lebih tinggi dari titik leleh es, hujan membutuhkan adanya lapisan atmosfer yang tebal. Kondensasi uap air atmosfer menjadi tetesan air yang cukup berat untuk jatuh dan biasanya menyentuh tanah inilah yang menyebabkan hujan. Udara bisa menjadi lebih jenuh sebelum hujan sebagai akibat dari dua proses simultan: pendinginan udara atau penambahan uap air.

5) Topografi

Topografi menurut M. Suparno dan Marlina Endy (dalam Roni, 2018) adalah istilah yang menggambarkan kemiringan atau kontur tanah; semakin jelas konturnya, semakin curam lerengnya. Studi topografi melibatkan

pemeriksaan permukaan bumi serta benda-benda lain, termasuk asteroid, planet, dan satelit alaminya (seperti bulan). Dalam arti yang lebih besar, topografi mengacu lebih dari sekedar fitur permukaan. Ini juga mencakup flora, dampak manusia terhadap lingkungan, budaya daerah, dan banyak lagi (Ilmu Pengetahuan Sosial). Relief permukaan, model tiga dimensi, dan klasifikasi tipe lahan biasanya disajikan melalui topografi. Kata topografi telah digunakan untuk menggambarkan kekhususan suatu tempat sejak zaman Yunani kuno dan bertahan hingga awal Roma. Kata ini berasal dari kata Yunani untuk menulis dan tempat, *topos* dan *graphia*. Fokus topografi adalah pada lokasi bagian dan biasanya mengacu pada koordinat, baik secara horizontal maupun vertikal, seperti lintang dan bujur dan ketinggian.

b. Faktor eksternal (efek samping kegiatan manusia)

Efek pembakaran bahan bakar fosil, penggunaan bahan kimia yang disemprotkan ke udara, dan debu atau serbuk dari kegiatan industri merupakan beberapa contoh yang berdampak pada pencemaran udara (Sugiarti 2019).

Polutan terbesar yang dihasilkan oleh aktivitas manusia adalah gas buang dari industri dan pembakaran bahan bakar fosil. Nilai persentase komponen pencemar udara di Indonesia, khususnya lalu lintas dan industri, diperkirakan sebagai berikut: (Wardhana 2004).

- 1) 70,50% dari Karbon Monoksida (CO)
- 2) 18,34% dari Hidrokarbon (HC)
- 3) 0,9% dari Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>)
- 4) 8,9% dari Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>)
- 5) 15,76% dari Kebisingan
- 6) 22,18% dari Gas rumah Kaca
- 7) 10,03% dari Ozon

Berikut daftar senyawa pencemar yang secara umum dapat mengubah struktur udara di sekitarnya: (Sugiarti 2019).

1. Karbon Monoksida (CO)

Salah satu prekursor yang memiliki dampak signifikan terhadap pembentukan polutan di udara adalah karbon monoksida (CO). Salah satu spesies polutan penting dalam sistem fotokimia troposfer bawah (permukaan) adalah karbon monoksida (CO). Menurut Henne (2007), 70% oksidan kimia di atmosfer bereaksi dengan CO. Karbon monoksida adalah bahan kimia gas yang tidak berasa, tidak berbau, dan tidak berwarna dengan rumus (CO). Jenis polusi udara yang paling umum adalah karbon monoksida (CO). Jika dibandingkan dengan pencemar udara lainnya, gas karbon monoksida (CO) relatif lebih sering dipancarkan ke atmosfer. Rasio polutan CO dapat berkisar antara 1 hingga 10 ppm di lokasi dengan kepadatan penduduk yang tinggi (Kamal 2015). Karbon monoksida (CO) dan molekul organik yang mudah menguap mengalami proses oksidasi fotokimia, yang menghasilkan polutan CO. Menurut penelitian, pengaruh CO yang berkelanjutan memiliki dampak negatif terhadap lingkungan. Sekitar 20% polusi permukaan, menurut National Research Council of America pada tahun 1999, disebabkan langsung oleh emisi CO<sub>2</sub> (Zhang et al. 2006). Sumber utama pencemaran karbon monoksida (CO) adalah asap kendaraan. Menurut penelitian, transportasi berbahan bakar fosil menjadi penyebab 60% polusi udara di perkotaan. Peningkatan kadar karbon monoksida (CO) dapat menyebabkan penurunan berat badan janin, kerusakan otak, dan peningkatan kematian bayi. Akibatnya, rencana untuk menurunkan tingkat karbon monoksida akan bergantung pada pengurangan emisi kendaraan, seperti dengan menggunakan bahan bakar motor terbaru yang rendah polusi (Kamal 2015). Selain tidak sehat, karbon monoksida berdampak buruk pada ekosistem. CO

dapat menurunkan kualitas udara, yang secara alami berdampak buruk pada hewan dan tumbuhan. Efek rumah kaca dapat diperparah dengan kelebihan  $\text{CO}_2$  di atmosfer (Sumantri 2015).

## 2. Nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ )

Nitrit oksida ( $\text{NO}$ ) dan nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) membentuk kelompok gas yang dikenal sebagai nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ), yang ada di lingkungan. Ada jenis nitrogen oksida lain selain keduanya, namun kedua gas ini memiliki konsentrasi kontaminan tertinggi di udara. Nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) berwarna coklat kemerahan dan memiliki bau yang menyengat, berbeda dengan oksida nitrat ( $\text{NO}$ ) yang sifatnya tidak berwarna dan tidak berbau (Wijayanti 2012). Molekul gas beracun nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) mudah larut dalam larutan basa, kloroform, dan karbon disulfida. Kelarutannya dalam air minimal. Gas nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) biasanya berwarna coklat kemerahan. Suhu rendah akan menyebabkannya menjadi larutan kuning. Gas nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) mengeluarkan bau yang menyengat dan khas serta berpotensi mengiritasi bahkan mengiritasi saluran pernapasan (Handayani, Yunus & Wiyono 2003). Bersama dengan  $\text{NO}$ ,  $\text{HNO}_2$ , dan  $\text{HNO}_3$ , nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) adalah salah satu kelas pencemar nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ). Namun demikian,  $\text{NO}_2$  adalah elemen penting dan mewakili keluarga  $\text{NO}_x$  yang lengkap (CAI-Asia Factsheet, 2010). Nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) adalah kelas gas beracun yang tidak larut dengan baik dalam air tetapi mudah larut dalam larutan basa, larutan karbon disulfida, dan larutan kloroform. Gas nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) biasanya berwarna agak coklat kemerahan. Nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) akan berubah menjadi cairan kuning pada suhu di bawah  $21,2^\circ\text{C}$ . Gas nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) memiliki bau yang khas dan mengganggu, menurut beberapa

catatan, pada konsentrasi 1 sampai 3 ppm, bahkan dapat mengiritasi sistem pernapasan (Handayani et al. 2003).

Warna dan bau gas nitrogen dioksida khas merah tua dan agak keras (Fardiaz 2008). Ketika bahan bakar fosil dibakar dalam operasi industri, pembakaran tidak sempurna kendaraan bermotor, pembangkit listrik berbasis batu bara, dan kegiatan industri lainnya, nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) diproduksi dengan cepat. Untuk populasi sensitif seperti penderita asma, anak kecil, dan orang tua, paparan  $\text{NO}_2$  di lingkungan memerlukan pertimbangan khusus (U.S. Environmental Protection Agency 2010). Batuk, sesak napas, sianosis, sesak napas, edema paru, dan bronkiolitis obliterans merupakan efek samping dari paparan  $\text{NO}_2$  (Handayani et al. 2003).

Gas nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) biasanya dihasilkan melalui pembakaran bahan bakar fosil termasuk batu bara, gas, dan minyak. Proses pembakaran pada kendaraan bermotor menghasilkan 80% polutan Nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) di lingkungan metropolitan. Pembangkit listrik berbahan bakar batu bara, kegiatan industri, pemurnian logam dan minyak bumi, serta masakan rumahan merupakan sumber lebih lanjut dari polutan Nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) (www.environment.gov.au, 2018). Gas nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) rata-rata menghabiskan 2 sampai 3 hari di atmosfer (Fardiaz, 2008).

Dengan bantuan sinar matahari, gas  $\text{NO}_2$  di atmosfer akan melalui siklus fotolitik yang juga meliputi gas NO, oksigen, dan gas NO. Jika gas hidrokarbon (HC) hadir selama proses, siklus fotolitik dapat terganggu. Atom oksigen dan hidrokarbon (HC) akan bergabung untuk menghasilkan radikal bebas hidrokarbon yang sangat reaktif. Gas Nitrogen Oksida dan radikal bebas HC akan cepat bereaksi, meningkatkan jumlah  $\text{NO}_2$ . Selain itu, radikal bebas HC dapat

menghasilkan Peroxyl Acetyl Nitrates (PAN) dengan cara bergabung dengan  $O_2$  dan  $NO_2$ . Kabut foto kimia akan dihasilkan dari kombinasi PAN, ozon ( $O_3$ ), dan karbon monoksida (CO) (Wardhana 2004).

Manusia dapat mengalami kerusakan paru-paru akibat menghirup nitrogen dioksida ( $NO_2$ ), yang terdapat di udara secara cuma-cuma. Bahan kimia ini bereaksi dengan atmosfer untuk menghasilkan partikel nitrat, yang berukuran sangat kecil dan dapat mencapai bagian terdalam dari paru-paru. Selain itu, oksida ini dapat menghasilkan ozon rendah atau kabut keruh berwarna coklat kemerahan yang menyelimuti sebagian besar kota di dunia saat bereaksi dengan asap dari mobil yang terbakar sebagian (Sugiarti 2019).

Paparan nitrogen dioksida ( $NO_2$ ) memiliki konsekuensi yang merugikan terhadap lingkungan, terutama pada sistem pernapasan manusia. Menurut berbagai penelitian, paparan  $NO_2$  selama 30 menit hingga 24 jam akan berdampak sangat negatif pada sistem pernapasan seseorang, khususnya berupa peradangan saluran napas atau paru-paru. Peningkatan konsentrasi  $NO_2$  telah dikaitkan dengan lebih banyak kunjungan medis untuk penyakit pernapasan, khususnya infeksi saluran pernapasan atas (ISPA) dan asma, menurut sejumlah penelitian (U.S. Environmental Protection Agency 2010). Konsentrasi volume pada saat pemaparan dan lama pemaparan mempengaruhi efek samping pemaparan  $NO_2$ . Sesak napas, batuk, edema paru, sianosis ketat, dan bronkiolitis obliterans adalah efek yang dapat terjadi akibat paparan  $NO_2$ . Selain itu, makrofag alveolar secara langsung ditoksikkan oleh  $NO_2$ , yang menurunkan kapasitasnya untuk fagositosis dan aksi bakterisidal. Elemen ini dapat membuat tubuh lebih mungkin mengalami efek negatif seperti infeksi saluran pernapasan yang disebabkan oleh bakteri. Menurut (Handayani et al. 2003), paparan  $NO_2$  juga merusak silia,

sekresi mukus, dan imunitas humoral. Pengukuran konsentrasi  $\text{NO}_2$  terkait erat dengan fungsi paru-paru yang memburuk di Amerika Utara dan Eropa. Selain itu, menghirup  $\text{NO}_2$  dapat menyebabkan asma, yang meningkatkan risiko infeksi saluran pernapasan. Namun, kemungkinan infeksi ini tergantung pada teknik pemaparan dan konsentrasi. Pencemaran  $\text{NO}_2$  dalam jumlah yang tinggi dapat menimbulkan efek samping negatif seperti pembesaran paru atau edema yang dapat berakibat fatal (Organization 2021). Nilai standar gas nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) didasarkan pada standar WHO, yang memberikan rata-rata tahunan sebesar  $100 \text{ g/m}^3$  dan rata-rata per jam sebesar  $400 \text{ g/m}^3$ . Sedangkan baku mutu nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) dalam udara ambien di Indonesia adalah sekitar  $400 \text{ g/m}^3$ , menurut Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, kadar baku mutu nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) dalam udara ambien di Australia adalah sekitar 0,12 ppm per jam dan rata-rata 0,03 ppm per tahun ([www.environment.gov.au](http://www.environment.gov.au)).

### 3. Sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ )

Sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) adalah polutan yang termasuk dalam keluarga kimia yang sama dengan sulfur trioksida ( $\text{SO}_3$ ) dan sulfur oksida ( $\text{SO}_x$ ). Sementara belerang trioksida ( $\text{SO}_3$ ) tidak dikategorikan sebagai komponen reaktif di udara, sedangkan belerang dioksida ( $\text{SO}_2$ ) yang memiliki bau tajam yang khas dan tidak mudah terbakar di udara (Fardiaz 2008). Karena masa tinggalnya yang singkat di atmosfer, sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) memiliki potensi besar untuk bermigrasi ke lokasi yang berjarak 500–1000 km. Masalah ini dapat berdampak pada hujan asam lokal dan bahkan dapat menyebar ke negara lain (No 2010).

Sumber alami sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) termasuk letusan gunung berapi, kerusakan tanah dan tanaman, dan alga yang

menghasilkan dimetil sulfida (No 2010). Proses pembakaran di tempat terbuka dan tertutup, serta proses dari mesin industri, merupakan sumber  $\text{SO}_2$  yang dihasilkan dari aktivitas manusia. Pembakaran mesin industri besar yang meliputi proses pembakaran batu bara pada generator listrik merupakan salah satu proses pembakaran yang dapat mengakibatkan polutan  $\text{SO}_2$  (Fardiaz 2008).

Menurut (U.S. Environmental Protection Agency 2010), sumber sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) terbesar adalah pembakaran bahan bakar fosil di pembangkit listrik (73%) dan operasi industri lainnya (20%). Manusia yang terpapar gas belerang dioksida ( $\text{SO}_2$ ) dapat mengalami iritasi saluran pernapasan bagian atas yang sering disebut ISPA. Menurut penelitian, iritasi saluran pernapasan dapat terjadi ketika orang terpapar  $\text{SO}_2$  dengan kadar 5 ppm atau lebih. Bahkan pada populasi yang sensitif seperti balita dan lansia, iritasi dapat terjadi pada kadar 1-2 ppm (Fardiaz 2008). Mayoritas senyawa sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) berasal dari aktivitas manusia termasuk penggunaan kendaraan bermotor dan proses industri. Sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) dapat diproduksi melalui proses pembakaran pada peralatan industri dan generator listrik yang menggunakan bahan bakar seperti batu bara, gas alam, dan minyak bumi. Penyulingan minyak bumi merupakan salah satu proses industri yang menghasilkan polusi sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ). Industri penting lainnya termasuk yang memproduksi asam sulfat, baja, pertambangan sumber daya alam seperti minyak dan gas, semen, dan pupuk (Handayani et al. 2003). Sistem pernapasan dan fungsi paru-paru dapat terkena dampak negatif oleh sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ). Peradangan akibat polusi belerang dioksida ( $\text{SO}_2$ ) akan berdampak buruk pada sistem pernapasan manusia, termasuk peningkatan gejala bronkitis kronis dan asma, sekresi lendir yang berlebihan, dan

batuk. Ini akan memudahkan orang untuk tertular infeksi pernapasan.

Ketidaknyamanan tenggorokan adalah salah satu kemungkinan efek negatif dari konsentrasi  $\text{SO}_2$  antara 8 dan 12 ppm. Othmer dan Kiri dalam Fardiaz (1992). Dapat mengiritasi mata dan membuat seseorang batuk pada tingkat konsentrasi 20 ppm. Orang lanjut usia, orang dengan kondisi pernapasan dan kardiovaskular kronis, dan populasi rentan lainnya semuanya berisiko terkena  $\text{SO}_2$ . Bahkan pada tingkat konsentrasi paparan yang rendah, seperti 0,2 ppm atau lebih, individu dengan gejala tersebut sangat rentan terhadap paparan  $\text{SO}_2$  (Organization 2021). Tubuh terpapar sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) melalui pernapasan, dimana sebagian besar  $\text{SO}_2$  terserap ke dalam saluran pernapasan dan hidung. Partikel sulfat dalam knalpot kendaraan bermotor berukuran mikro hingga nano, membuatnya mudah untuk mencapai alveoli dan area terbatas lainnya di paru-paru, sistem paru-paru terdalam. Gatal, tidak nyaman, ruam, dan kulit kemerahan adalah tanda-tanda iritasi kulit akibat  $\text{SO}_2$ . Polutan ini berpotensi menyebabkan kebutaan jika mengiritasi mata, menyebabkan rasa sakit dan peradangan pada jaringan mata (Satriyo 2008).

Saat terkena polusi  $\text{SO}_2$ , otot-otot pernapasan akan mengalami spasme, dan spasme tersebut akan semakin parah jika konsentrasi  $\text{SO}_2$  lebih tinggi sedangkan suhu udara sekitar lebih rendah. Peradangan selaput lendir, kelumpuhan sistem pernapasan, dan kerusakan jaringan epitel adalah konsekuensi samping dari paparan polutan  $\text{SO}_2$  dalam waktu lama dan konsentrasi tinggi. Efek samping ini dapat menyebabkan kematian. Gas tersebut dapat menyebabkan kanker jika konsentrasi pencemar  $\text{SO}_2$  masih agak rendah tetapi lama paparannya singkat dan berulang (Wardhana 2004). Menurut peraturan WHO, konsentrasi rata-rata sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) di

udara ambien berkisar antara  $365 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per hari hingga  $900 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per jam. Menurut Department of the Environment and Heritage of Australia (2004) batas standar sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) di udara ambien di Australia adalah sekitar 0,20 ppm per jam, 0,08 ppm per hari, dan 0,02 ppm per tahun. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, syarat kualitas udara ambien Indonesia untuk  $\text{SO}_2$  adalah  $900 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Sakti 2012).

Tingkat sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) di Italia antara tahun 2005 dan 2007 rata-rata sekitar  $3,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , menurut penelitian. Menurut penelitian yang dilakukan di Brisbane, tingkat  $\text{SO}_2$  rata-rata di Australia dari tahun 1996 hingga 2004 kira-kira 5,4 ppb. Meskipun konsentrasi  $\text{SO}_2$  di Asia cenderung menurun setiap tahunnya, namun tetap berada di atas tingkat kualitas WHO. Menurut (No 2010) rata-rata konsentrasi  $\text{SO}_2$  di Asia pada tahun 2008 adalah  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , yang sama dengan tingkat kualitas WHO. Sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) yang memiliki jangkauan kontaminasi lebih dari 500 hingga 1000 km memiliki kemampuan untuk menyebar ke lokasi tetangga. Komponen ini mungkin memiliki dampak lingkungan yang negatif, seperti menyebabkan hujan asam lokal atau bahkan menyebar ke negara lain. Hujan asam dapat merusak tanaman, aset budaya, bangunan, dan hal-hal lain selain mengasamkan badan air, yang berdampak buruk pada ekosistem perairan (<http://cleanairinitiative.org>, 2018).

#### 4. Kebisingan

Suara yang tidak diinginkan yang mengganggu manusia dikenal sebagai kebisingan atau polusi suara. Sehingga suara yang lemah atau lembut dapat terdengar; jika ini tidak diinginkan, itu disebut sebagai kebisingan (Surat Keputusan Menteri Lingkungan Hidup, 1996). Ada tiga tolak ukur karakter yang ditampilkan dalam skala A, B, dan C untuk menilai tingkat kebisingan. Skala A menggambarkan batas atas

dan bawah pendengaran manusia serta bagaimana telinga bereaksi terhadap kebisingan, termasuk kebisingan dari lalu lintas dan suara yang dapat mengganggu pendengaran. Paparan kebisingan jangka panjang dapat merusak sistem pendengaran dan menginfeksi telinga luar dan dalam. Berdasarkan Surat Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Kep.48/MENLH/XI/1996, Pemerintah Republik Indonesia pada tanggal 25 November 1996, ambang batas tingkat kebisingan maksimum di kawasan pemukiman luar ruang adalah 55 dB (Surat (Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia 1996)).

#### 5. Ozon

Planet ini diketahui terlindung dari sinar UV matahari oleh ozon. Di stratosfer adalah lapisan ozon. Ozon, bersama dengan fluor, oksigen, dan oksigen fluorida ( $\text{OF}_2$ ), adalah salah satu zat pengoksidasi yang paling kuat. Lapisan polusi udara lainnya, meski ada di alam dalam jumlah kecil. Perlindungan bumi dari radiasi ultraviolet B (UV-B) sangat dibantu oleh ozon. Ketika sinar UV matahari dengan panjang gelombang 242 nm perlahan memecah molekul oksigen ( $\text{O}_2$ ) menjadi atom oksigen, tergantung jumlah molekul  $\text{O}_2$ , atom oksigen dengan cepat menghasilkan ozon di udara pada ketinggian 30 km. Radiasi matahari pada rentang panjang gelombang 240–320 nm sangat diserap oleh ozon (Saidal Siburian & Mar 2020).

### 7.2.3 Faktor yang Mempengaruhi Pencemaran Udara

Menurut (Miller 1992) Penyebab Pencemaran Udara dipengaruhi hal-hal berikut dapat berdampak pada pencemaran udara atmosfer:

- 1) Kelembaban pada tempat yang terkontaminasi  $\text{SO}_2$ , tingkat kelembaban udara yang relatif rendah ( $< 60\%$ ) akan mengurangi efek korosif  $\text{SO}_2$ . Di tempat-tempat dengan

polusi  $\text{SO}_2$  yang tinggi, efek korosif  $\text{SO}_2$  akan meningkat pada tingkat kelembaban relatif lebih dari atau sama dengan 80%.

- 2) Suhu. Kelembaban udara relatif dapat meningkat karena penurunan suhu permukaan bumi, yang dapat memperburuk efek korosif polutan di tempat-tempat yang tercemar. Laju reaksi kimia juga akan dipercepat pada suhu yang lebih tinggi.
- 3) Sinar matahari. Oksidan, terutama  $\text{O}_2$  di atmosfer, dapat dipengaruhi oleh sinar matahari. Bahan yang terbuat dari karet serta peralatan konstruksi rentan terhadap kerusakan pada kondisi tersebut. Jadi dapat dikatakan bahwa sinar matahari menimbulkan rangsangan bagi degradasi material.
- 4) Pergerakan udara. Abrasi bahan konstruksi dapat ditingkatkan dengan pergerakan udara yang cepat.

#### **7.2.4 Pengendalian Pencemaran Udara**

Kajian karakteristik fisik sumber (ketinggian cerobong, bentuk, lubang pembuangan, dan jumlah emisi), keadaan awal (latar belakang) kualitas udara setempat, kondisi iklim, dan medan dapat digunakan untuk menentukan model dan pola penyebaran. studi tentang bagaimana polusi udara mempengaruhi kesehatan manusia, hewan, dan tumbuhan serta bahan dan estetika, dan apakah perubahan iklim lokal dan regional adalah suatu kemungkinan atau tidak. Pendekatan yang tepat harus dipilih untuk melakukan pengukuran lapangan dalam rangka pemantauan pencemaran udara, dengan mempertimbangkan kemampuan jaringan pengamatan, lokasi peralatan yang diperlukan untuk pengambilan sampel, dan kebutuhan peralatan dan tenaga ahli untuk analisis (Environment 2018).

Pengendalian pencemaran udara (*pollution control*) penting untuk mendapatkan udara ambien yang berkualitas tinggi.

Pendekatan sistem diperlukan untuk pengurangan emisi gas buang industri dan kendaraan bermotor sehingga pengukuran kualitas udara dapat dilakukan di area masalah kualitas udara potensial atau aktual untuk melestarikan kelestarian dan kesehatan lingkungan (Storch, 2001). Secara umum, pemantauan dan penilaian kualitas udara dapat dilakukan sebagai bagian dari proses pengendalian pencemaran. Di lokasi dengan lalu lintas padat, populasi padat, dan aktivitas industri, di mana berbagai aktivitas dapat meningkatkan tingkat polusi, kualitas udara ambien diukur (Taher, 2015).

Baku mutu udara ambien adalah pengukuran tingkat maksimum bahan, energi, dan elemen yang dapat atau harus ada di udara ambien. Udara yang tidak memenuhi regulasi dapat merusak ekosistem di sekitarnya dan berpeluang besar mempengaruhi kesehatan penduduk setempat (Taher, 2015). Karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>), sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), dan unsur pencemar berbahaya lainnya dapat masuk ke atmosfer, sesuai dengan Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara. (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia, 1999).

### **7.2.5 Rancang Bangun Alat Pemantau Kualitas Udara**

#### **1. *Internet of Things* (IoT)**

Gagasan "*Internet of Things*" atau IoT bertujuan untuk meningkatkan keunggulan konektivitas internet yang terhubung secara permanen (Junaidi, 2015 dalam Hidayat & Sari, 2021). *Internet of things* (IoT), sebagaimana didefinisikan oleh *Coordinator and Support Action for Global RFID-related Activities Standardization* (CASAGRAS) dalam (Nisa & Nuryana, 2020), berinteraksi dengan teknologi melalui koneksi jaringan di internet. Melalui koneksi jaringan internet.



**Gambar 7.1.** Konsep Internet of Things (IoT)

(Sumber : <https://mobnasesemka.com/internet-of-things/>)

## 2. Mikrokontroler *Arduino Uno*

Mikrokontroler seperti *Arduino Uno* menggunakan chip berbasis ATmega 328. Menurut Saragih dan Bancin (2020), *Arduino* memiliki 14 pin input/output (I/O), 6 diantaranya dapat digunakan sebagai output PWM, 6 pin input analog, crystal oscillator 16 MHz, port USB, power jack, kepala ICSP, dan tombol reset. Karena desainnya tersebut, *Arduino Uno* dapat digunakan untuk membangun proyek-proyek yang terbilang canggih.

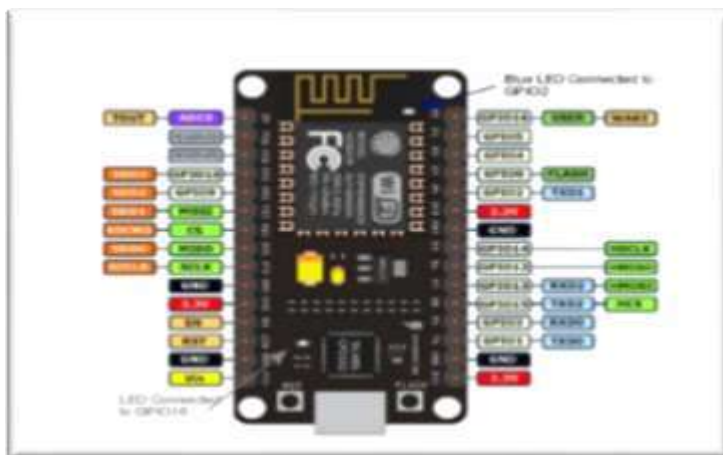


**Gambar 7.2.** *Arduino Uno*

(Sumber : Sumber: <https://store.arduino.cc/>)

### 3. NodeMCU ESP8266

The ESP8266-based NodeMCU has eLua-based firmware. Two pushbuttons that serve as reset and flash buttons are included in the ESP8266 package and used by NodeMCU, which uses Lua as its programming language. To use NodeMCU on an Arduino board, which is an open source IoT platform, the board must first be flashed to support the tools used. (Hidayat & Sari, 2021).



**Gambar 7.3.** NodeMCU ESP8266  
(Sumber : <https://circuits4you.com/>)

### 4. Sensor DHT22

Sensor DHT22 adalah sensor digital yang dapat mengukur tingkat kelembapan sekitar 0–100% dan suhu berkisar antara -40–125 °C. Menggunakan sensor ini dengan Arduino cukup sederhana. memiliki tingkat stabilitas yang tinggi dan fitur kalibrasi yang sangat presisi (Project Hub, 2016 dalam Siswanto et al., 2017).



**Gambar 7.4.** Sensor DHT22

(Sumber : <https://cityos-air.readme.io/docs/4-dht22-digital-temperature-humidity-sensor> )

#### 5. Sensor MQ-7

Detektor MQ-7 Sensor gas yang disebut MQ-7 digunakan untuk mengidentifikasi gas karbon monoksida (CO) di lingkungan. Menurut Agustinus dkk. (2015) dan Prayoga dkk. (2020), sensor gas MQ-7 menawarkan keunggulan sensitivitas tinggi terhadap karbon monoksida (CO), stabilitas, dan masa pakai yang lebih lama. Sensor ini merespon dengan cepat dan dengan sensitivitas yang sangat baik. Sinyal analog dihasilkan oleh sensor ini sebagai keluarannya. Saat terkena gas, nilai resistansi sensor ( $R_s$ ) sensor ini bisa berfluktuasi. (Putro, 2012 dalam Mallongi (2019)).



**Gambar 7.5.** Sensor MQ-7  
(Sumber : Sumber: Prayoga et al., 2020 )

## DAFTAR PUSTAKA

- A, U.S.E.P., 2007, *Monitored Natural Attenuation of Inorganic Contaminants in Ground Water: Volume 2. Assessment for Non-Radionuclides Including Arsenic, Cadmium, Chromium, Copper, Lead, Nickel, Nitrate, Perchlorate, and Selenium*. EPA 600-R-07-140.
- Amiroh, K., Permata, O.A. & Rahmanti, F.Z., 2019, 'Analisis Kualitas Udara untuk Monitoring Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit', *Jurnal Nasional Informatika dan Teknologi Jaringan*, 4(1), 29–36.
- Deli Syaputri, et all., 2023, 'Penyehatan Udara', *Padang Sumatera Barat: PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI*.
- Environment, 2018, *Sumber-sumber polutan Nitrogen oksida*.
- Fardiaz, 2008, 'Polusi Air dan Udara', *Yogyakarta: Kanisius*.
- Handayani, D., Yunus, F. & Wiyono, W.H., 2003, 'Pengaruh inhalasi NO2 terhadap kesehatan paru', *Cermin Dunia Kedokteran. Jakarta*.
- Imelda, F., 2009, *Oksigenasi dan Proses Keperawatan*, Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Indonesia, P.R., 1999, 'Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 Tentang: Pengendalian Pencemaran Udara', *Lembaran Negara RI Tahun*, 86.
- Kamal, N.M., 2015, 'Studi tingkat kualitas udara pada kawasan mall Panakukang di makassar', *Skripsi, Program Studi Teknik Lingkungan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Unhas.(Online)* <http://repository.unhas.ac.id/handle/123456789/14300>.(Diakses pada tanggal 18 September 2018, pukul 20.52).
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup, 1988, No. 02/Men-KLH/I/.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik indonesia, 1996, *Baku Tingkat Kebisingan*.

- Miller, G.T., 1992, 'Environmental science sustaining the earth, Wadsworth Publishing Company'.
- Mukono, H.J., 2008, *Pencemaran Udara dan pengaruhnya terhadap gangguan saluran pernapasan*, Airlangga University Press.
- Nikmawati, A., Windarwati, W. & Hardjoeno, H., 2005, 'Resistensi Mycobacterium tuberculosis terhadap Obat Anti Tuberkulosis', *Indonesian Journal of Clinical Pathology and Medical Laboratory*, 12(2), 58–61.
- No, C.-A.F., 2010, 'Sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) Status and Trends in Asia'.
- Organization, W.H., 2021, 'WHO air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. 2005', *Geneva: World Health Organization*, 173–186.
- Prabowo, K. & Muslim, B., 2018, 'Penyehatan udara', *Kementrian Kesehatan Republik Indonesia, Pusat Pendidikan Sumber Daya Manusia Kesehatan Badan Pengembangan Dan Pemberdayaan Sumber Daya Manusia Kesehatan*.
- Purba, L.S.L. & Harefa, N., 2019, 'Pengaruh Kandungan Oksigen Udara Sekolah terhadap Konsentrasi Belajar Siswa SMAN 9 Jakarta Timur', *Universitas*, 3, 9–16.
- Saidal Siburian, M.M. & Mar, M., 2020, *Pencemaran Udara dan Emisi Gas Rumah Kaca*, Kreasi Cendekia Pustaka.
- Sakti, E.S., 2012, 'Tinjauan Tentang Kualitas Udara Ambien (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, Total Suspended Particulate) terhadap Kejadian ISPA di Kota Bekasi Tahun 2004-2011', *Universitas Indonesia*.
- Satriyo, S., 2008, 'Studi Kondisi Kimiawi Penyebaran PB, Debu, dan Kebisingan di Kota Jakarta', *Jurnal kajian ilmiah lembaga penelitian Ubhara Jaya*, 9(2), 862–891.
- Schreiber, V., 1996, 'A synoptic climatological evaluation of surface ozone concentrations in Lancaster Country, Pennsylvania', *Millersville University of Pennsylvania*.
- Sugiarti, 2019, 'Gas Pencemar Udara Dan Pengaruhnya Bagi Kesehatan Manusia', *Jurnal Chemical*, 10(1), 50–58.

- Sumantri, A., 2015, *Kesehatan lingkungan. Jakarta: Prenada Media Group.*
- Tri Cahyono, S.K.M., M.Si., 2017, 'Penyehatan Udara', *Yogyakarta: CV. ANDI OFFSET.*
- U.S. Environmental Protection Agency, 2010, *Nitrogen Dioxide.*
- Wardhana, W.A., 2004, 'Dampak Pencemaran Lingkungan (Edisi Revisi)', *Yogyakarta: Penerbit Andi.*
- Wardhani, E., 2019, 'Profil Kualitas Udara Kota Cimahi Provinsi Jawa Barat', *Jurnal Rekayasa Hijau*, 1(3), 61–70.
- Wijayanti, D.R., 2012, 'Gambaran Dan Analisis Risiko Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>) Per-Kota', *Kabupaten Dan Provinsi Di Indonesia (Hasil Pemantauan Kualitas Udara Ambien Dengan Metode Pasif Di Pusarpedal Tahun 2011)*(Bachelor's thesis, Universitas Indonesia.
- Zhang, L., Jacob, D.J., Bowman, K.W., Logan, J.A., Turquety, S., Hudman, R.C., Li, Q., Beer, R., Worden, H.M. & Worden, J.R., 2006, 'Ozone-CO correlations determined by the TES satellite instrument in continental outflow regions', *Geophysical Research Letters*, 33(18).

# **BAB 8**

## **METODE DAN TEKNIK SAMPLING**

### **ANALISIS FISIK, KIMIA DAN BIOLOGI**

#### **MAKANAN**

*Oleh Jernita Sinaga*

#### **8.1 Pendahuluan**

Salah satu faktor yang dapat memengaruhi kualitas makanan yaitu terjadinya kontaminasi makanan oleh bakteri yang terjadi karena kualitas bahan, proses pengolahan, alat makan atau penjamah makanan. (Patilaiyah Hairudin dkk, 2022)

Dalam pengambilan contoh makanan dikenal dua istilah yang digunakan, yaitu Lot dan Unit. Lot adalah sejumlah makanan yang diproduksi dan ditangani pada konsumsi yang seragam dalam periode waktu tertentu. Semakin kurang seragam kondisi produksi dan penanganan suatu produk maka semakin pendek periode waktu yang ditetapkan untuk satu lot. Unit adalah contoh makanan yang diambil secara acak dari satu lot, yang dianggap mewakili sifat-sifat lot tersebut. Pengambilan unit makanan dalam suatu lot harus dilakukan secara terpisah dan tidak bergantung satu sama lain. Untuk makanan yang dikemas dalam wadah (kaleng, botol, kotak karton) maka suatu kemasan dikatakan satu unit. Untuk contoh makanan yang jumlah atau ukurannya besar satu unit dapat berarti satuan berat atau volume yang diambil. (Patilaiyah Hairudin dkk, 2022)

Teknik pengambilan sampel akan mengenal istilah populasi dan sampel. Populasi diartikan sebagai semua objek yang diamati. Populasi berupa manusia, air, udara, tanah, makanan dan minuman atau pun vektor dapat diukur atau diamati. Sedangkan sampel

bagian dari populasi bersifat representatif (yang dapat mewakili dari populasi). Banyaknya anggota suatu sampel disebut ukuran sampel, sedangkan suatu nilai yang menggambarkan ciri sampel disebut statistik. Standar teknik pengambilan sampel dan ukuran sampel dalam sebuah penelitian sehingga menghasilkan gambaran atas populasi atau permasalahan sehingga dapat diambil tindakan untuk mengatasi masalah tersebut (Aliyah Fahmi, 2022)

Permasalahan yang sering dialami dalam pengambilan sampel lingkungan di antaranya adalah karena pencemaran lingkungan dapat berpindah dengan adanya perubahan kondisi lingkungan. Karakteristik air, udara, tanah, cuaca, jumlah pencemar, kecepatan pencemaran, sumber emisi, sifat kimia, biologi dan fisika dan intervensi manusia sangat memengaruhi kecepatan perpindahan pencemar. Pada umumnya perpindahan dan penyebaran pencemar terjadi melalui angin, hujan, air permukaan, air tanah, air laut. Konsentrasi yang berasal dari air, udara dan tanah rendah yaitu parts per million (ppm), parts per billion (ppb), bahkan parts per trillion (ppt) masalah yang muncul ketika menganalisis sampel di laboratorium. Rendahnya konsentrasi menyebabkan degradasi dan kontaminasi pada saat perlakuan sampel di lapangan, transportasi, penyimpanan dan analisis di laboratorium. Mendapatkan sampel homogen merupakan permasalahan karena pengambilan sampel harus representatif atau mewakili populasi (Suryono Hadi dkk, 2019)

## **8.2 Metode Teknik Sampling Makanan.**

Mendapatkan validitas metode teknik sampel dengan hasil pengukuran parameter kualitas makanan di lingkungan, Mempertimbang aspek dalam pengambilan sampel yang dapat diperhatikan di antaranya adalah sebagai berikut.

### **8.2.1 Persiapan Pengambilan Sampel Makanan.**

Penentuan titik lokasi pengambilan sampel harus memperhatikan transportasi dan aksesibilitas pengambilan sampel

makanan. Parameter kualitas lingkungan dikelompokkan pada parameter primer dan sekunder. Parameter primer merupakan senyawa kimia yang masuk ke dalam lingkungan tanpa berinteraksi dengan senyawa lain, misalnya pestisida dan logam berat. Sedangkan parameter sekunder merupakan parameter yang terbentuk akibat adanya interaksi, transformasi atau reaksi kimia antar-parameter primer menjadi senyawa lain. Penentuan parameter di lingkungan bergantung pada baku mutu dalam peraturan dan tujuan dalam hal jenis pemeriksaan yang akan digunakan.

Ukuran, jumlah dan volume sampel bergantung pada parameter yang diuji, metode pengujian yang digunakan dan distribusinya di lingkungan. Mengetahui ukuran, jumlah dan volume sampel dengan mempertimbangkan metode pengujian yang digunakan, kebutuhan pengendalian mutu internal yang dilakukan, sebagai gambaran untuk ukuran minimal sampel makanan adalah minimal 100 ml untuk pemeriksaan air bersih dan air minum, 100 gram untuk makanan padat. (Suryono Hadi dkk, 2019)

Homogenitas pada sampel makanan harus dapat mewakili, sampel menunjukkan keseragaman secara visual dapat digunakan dengan asumsi bahwa sampel tersebut cukup homogen. Waktu pengambilan sampel pada umumnya sampel diambil dengan memprediksi sampel yang akan diambil homogen atau konstan.

### **8.2.2 Pertimbangan Praktis dalam Pengambilan Sampel Makanan.**

Apabila akan dilakukan pengambilan sampel makanan dan air minum ada beberapa hal yang dapat menjadi pertimbangan,; (Patilayyah Hairudin dkk, 2022)

1. Bahaya: Proses titik bahaya mikroorganisme yang terdapat di dalam suatu makanan, atau semakin kecil jumlah yang

dapat menimbulkan penyakit, unit contoh yang harus diambil semakin besar dan banyak untuk mempertinggi peluang mendapatkan contoh positif sehingga dapat dihindari kemungkinan menyatakan suatu contoh aman padahal sebenarnya berbahaya.

2. Keseragaman: Jika makanan pada waktu produksi mengalami proses pengadukan (susu, makanan cair) contoh menjadi lebih seragam sehingga unit yang diambil dapat lebih kecil atau lebih sedikit. Jika contoh sampel kurang seragam, beberapa bagian contoh kemungkinan mengalami kontaminasi lebih besar dari pada yang lain, oleh sebab itu, contoh lebih banyak dan besar.
3. Pengelompokan: Pengelompokan yang lebih kecil (sublot), diambil dari masing-masing sublot untuk mewakili.
4. Konsistensi dalam produksi: Jika suatu merek makanan tertentu dari suatu suplier/produsen selalu mempunyai mutu baik setelah diuji (rekornya baik), pengambilan contoh dapat dikurangi atau diperpanjang periodenya.
5. Batasan praktis: Uji mikrobiologi memerlukan waktu lama, banyak tenaga dan mahal sehingga harus dipertimbangkan jumlah unit dan lot yang akan diuji.

### **8.2.3 Hal yang Perlu Dipertimbangkan dalam Pengambilan Sampel Makanan.**

Ketika sampel makanan diambil, ada persiapan yang harus dilakukan, di antaranya: (Suryono Hadi dkk, 2019) (Puspawati Catur, 2019)

1. Tenaga pengambil sampel hendaknya telah terlatih dan dalam kondisi sehat.
2. Alat pengambilan sampel dalam keadaan steril
3. Usahakan agar waktu pengambilan sampel sesingkat mungkin, agar segera dapat diperiksa di laboratorium.

4. Tentukan jenis sampel dan jenis pemeriksaan yang akan dilakukan.
5. Usahakan sedapat mungkin sampel yang diambil mewakili seluruh makanan/bahan makanan yang akan diperiksa.
6. Dilengkapi dengan keterangan sampel yang diantaranya:
  - a. Waktu pengambilan sampel
  - b. Tempat pengambilan sampel
  - c. Jumlah dan jenis sampel
  - d. Jenis pemeriksaan yang dikehendaki (Fisik, bakteriologi, kimia)
  - e. Nama wadah dan kode, tanda merk barang.
  - f. Suhu dan kelembapan saat pengambilan sampel.
  - g. Nama petugas pengambil sampel.
7. Pengemasan harus dilakukan secara cermat sehingga tahan guncangan selama dalam perjalanan dan usahakan tidak terkena sinar matahari secara langsung.
8. Usahakan suhu selama pengiriman sampel tersebut sama dengan suhu semula ketika sampel tersebut diambil.

#### **8.2.4 Teknik Pengambilan Sampel Makanan.**

Sifat fisik, kimia dan biologi menentukan tingkat polutan atau cemaran pada bahan makanan yang memengaruhi kualitas makanan. Menetapkan uji kualitas makanan yang juga menjadi hal penting adalah teknik pengambilan sampel makanan. Pada teknik pengambilan sampel makanan yang perlu diperhatikan adalah jumlah maupun bagian dari bahan pangan/makanan yang harus disampling. Misalnya dalam melakukan uji kualitas makanan cair, maka sebelum diambil harus dilakukan homogenitas terlebih dahulu dan jumlah yang diambil sekitar 100 ml (dianggap sudah mewakili). Jika makanan padat dan merupakan campuran dari berbagai bahan makanan, maka setiap potongan/bagian dari makanan tersebut harus diambil.

## **A. Pengambilan sampel makanan**

Langkah-langkah pengambilan sampel makanan (Suryono Hadi dkk, 2019) (Puspawati Catur, 2019):

1. Siapkan peralatan yang digunakan (boks/termos penyimpanan makanan, lampu spritus, Botol, sendok steril, sampel/kantong plastik makan steril, kertas label, pulpen dan sarung tangan).
2. Nyalakan lampu bunsen (Lampu spritus), sterilkan alat pengambil makanan (sendok/garpu/penjepit makanan).
3. Siapkan botol sampel/plastik makanan steril, ambil sampel makanan dengan menggunakan alat pengambilan makanan tersebut, setiap jenis makanan yang diambil masukkan kedalam botol/plastik steril dengan tempat yang berbeda-beda sesuai jenis sampel.
4. Siapkan kertas label tuliskan lokasi sampling makanan, jenis makanan, lokasi, waktu pengambilan kemudian dilabeli setiap sampel sesuai jenis makanan.
5. Taruh sampling makanan pada boks/termos makan untuk keamanan penyimpanan sementara
6. Sampling makanan siap diantar untuk diuji kualitas makanan
7. Segera setelah pengambilan harus sudah sampai di laboratorium pemeriksaan dalam waktu 1 x 24 jam.
8. Bila tidak memungkinkan, dibungkus aluminium foil pada suhu dibawah 4°C penyimpanan dan perjalanan.
9. Membawa sampel ke laboratorium dengan formulir pengiriman sampel.

## **B. Pengambilan sampel usap alat makan**

Alat makan adalah salah satu media yang dapat menyebabkan makanan terkontaminasi karena bakteri yang ada pada alat makan tersebut. Jenis alat makanan yang

digunakan sangat bervariasi bergantung pada makanan yang disajikan. Ada beberapa jenis alat makan yang diambil sampling, pada pengambilan usap alat makan, berikut tahapan pengambilan sampel (Irwan Djoko Windu, 2016) (Puspawati Catur, 2019):

1. Siapkan alat makan yang akan diperiksa (bawa pepton yang sudah berisi swab steril ke restoran/rumah makan/tempat sampling)
2. Secara steril buka tutup kapas media transport kemudian dengan sedikit tekanan, cairan yang ada dalam swab peraskan ke dinding tabung, lalu usapkan bagian kapasnya ke alat yang disampling.
3. Celupkan swab tersebut ke dalam tabung/media transport, dengan sedikit pencampuran agar isinya homogeny dengan media dalam tabung.
4. Kemudian ulangi lagi usapkan hingga 2-3kali alat.
5. Kemudian patahkan batang lidi yang melebihi ujung tabung dan tutup tabung dengan kapas yang sebelumnya mulut tabung disterilkan menggunakan Bunsen spritus terlebih dahulu.
6. Ukur luas permukaan alat makan.
7. Beri label, tanggal pengambilan, waktu pengambilan, lokasi, jenis alat makan, petugas dan nomor sampel.

Pemeriksaan paling baik sudah dilakukan dalam waktu 2 jam pertama setelah pengolesan, jika tidak sampel harus didinginkan pada suhu 10-20°C dan dianalisis dalam waktu maksimal 24 jam

Berikut usap masing-masing alat makan:

1. Mangkuk dan gelas: Diusap permukaan luar dan dalam, bagian bibir mangkuk dan gelas masing-masing selebar 1-2 cm
2. Sendok: Seluruh permukaan luar dan dalam bagian mangkuk sendok

3. Garpu: Seluruh permukaan luar dan dalam alat penusuk garpu.
4. Pisau makan: Seluruh permukaan pisau makan, bagian pemotongannya (yang melengkung)
5. Piring: Permukaan dalam piring makan tempat makanan diletakkan
6. Chopstik: Seluruh permukaan alat  $\frac{1}{2}$  distal (bagian yang akan mengenai makanan dan mulut)

Prinsip dari pengusapan alat makan adalah mengoles semua permukaan alat yang kontak dengan makanan, minuman dan mulut konsumen.

### **C. Pengambilan usap dubur.**

Pengambilan sampel bakteri pada penjamah, maka yang dijadikan sampel adalah orang yang bertugas pada pengolahan dan penyajian makanan. Untuk pengambilan sampling penjamah yang menjadi sampling dilakukan dengan usap dubur. Tahapan pemeriksaan.

Tahap persiapan, (Suryono Hadi dkk, 2019) (Irwan Djoko Windu, 2016)

Alat dan bahan:

1. Swab steril (lidi dan kapas)
2. Tabung reaksi
3. Sarung tangan sterill
4. Alat tulis
5. Cool box tempat sampel
6. Blood agar base
7. Salmonella shigella agar
8. Thio citrate bole sukrosa agar
9. Oven
10. Incubator
11. Ose
12. Lampu bunsen/spritus

13. Media endo agar

14. Media uji biokimia (TSIA, MRVP, SCA, SIM

Petunjuk teknis (Ibrahim Ratna, 2012):

1. Sampel diambil dengan cara melakukan pengusapan pada bagian dubur/rectal penjamah makanan dan dilakukan secara aseptis
2. Dari tabung swab, ditanam sebanyak 1-2 ose pada media, SSA, TCBSA dan endo agar.

Tahapan pengambilan sampel (Suryono Hadi dkk, 2019):

1. Siapkan tenaga penjamah yang akan diperiksa (bawa pepton yang telah berisi swab steril)
2. Secara legeartis/steril buka tutup kapas media transpor, yang kemudian dengan sedikit tekanan, cairan yang ada dalam swab peraskan ke dinding tabung, lalu usapkan bagian kapasnya ke dubur pasien penjamah makanan.
3. Celupkan swab tersebut ke dalam tabung/media transport, dengan sedikit pencampuran agar isinya homogeny dengan media dalam tabung.
4. Kemudian patahkan batang lidi yang melebihi ujung tabung dan tutup tabung dengan kapas, yang sebelumnya mulut tabung disterilkan dengan menggunakan bunsen.
5. Catat dan buat label sampling dan riwayat penyakit dari pada tenaga penjamah:
  - a. Tanggal pengambilan:
  - b. Jam pengambilan:
  - c. Lokasi pengambilan:
  - d. Nama/ kode Penjamah makanan:
  - e. Nama Pengambil sampel:
  - f. Tempat kerja:
  - g. Penyakit infeksi yang diderita sekitar 3 bulan sebelumnya.

6. Pemeriksaan paling baik sudah dilakukan dalam waktu 2 jam pertama setelah pengusapan dubur/rectal, jika tidak sampel harus didinginkan pada suhu 10-20C dan dianalisis dalam waktu maksimal 24 jam.

### **8.3 Analisis Sampel Makanan dan Minuman.**

Kegiatan analisis pada dasarnya mencakup beberapa langkah yang harus diperhatikan, batasan analisis penentuan tujuan analisis dan target, Sampling harus representatif dan jumlah cukup, pengukuran sampel kuantitatif dapat dikelompokkan fisik, kimia dan biologi. Kesalahan dalam analisis sering ditemukan, di mana dapat bersifat tetap dan sistematis. Kesalahan tetap disebabkan alat pengukur dan kemurnian bahan. Kesalahan sistematis terjadi kesalahan dalam prosedur, pengambilan dan persiapan sampel, (Ibrahim Ratna, 2012)

Pencegahan kasus keracunan makanan dapat dilakukan dengan meningkatkan pengawasan dalam pengolahan makanan mengikuti kaidah, prinsip higiene dan sanitasi makanan. Prinsip higiene dan sanitasi makanan merupakan upaya pengendalian, empat faktor yaitu higiene sanitasi makanan, tempat dan bangunan, peralatan, orang dan bahan makanan yang dimulai dari pemilihan bahan baku, penyimpanan, pengolahan hingga penyajian makanan.

Jenis pencemaran makanan dapat berupa pencemaran fisik, kimia dan mikrobiologi. Pencemaran fisik sering terjadi pada saat proses pengolahan makanan, pencemaran kimia sering terjadi karena penggunaan bahan tambahan pangan dan pengawet makanan yang salah, seperti menggunakan borak dan formalin, pencemaran mikrobiologi karena kontaminasi silang dari penggunaan peralatan makanan yang tidak saniter dari penggunaan peralatan makanan yang tidak saniter karena pencucian peralatan tidak menggunakan kaidah pencucian yang benar. (Indraswati Denok, 2016)

### **8.3.1 Analisis Pencemar Terhadap Pengolah Makanan dan Minuman**

Tenaga penjamah makanan terutama tenaga pengolah makanan, memiliki peran sangat penting dalam baik buruknya kualitas sebuah makanan. Seperti diketahui bahwa beberapa faktor yang memengaruhi keberadaan mikroorganisme dalam bahan pangan, Faktor implisit berupa bahan makanan dan komponen bahan makanan dan faktor eksplisit berupa lingkungan dan penjamah. Tenaga penjamah makanan dapat menambah jumlah dan jenis mikroorganisme pada makanan, bila dalam pemilihan bahan pangan, pengolahan, penyimpanan dan pendistribusian makanan tidak memenuhi kaidah higiene sanitasi makanan (Kurniawan Agung, 2019).

Untuk perusahaan, rumah sakit, atau restoran yang mempekerjakan tenaga pengolahan makanan biasanya selalu dilakukan tes kesehatan terhadap tenaga pengolah dan penyaji makanan (Patilayyah Hairudin dkk, 2022).

Tenaga pengelola makanan di jasa boga berbadan sehat yang dibuktikan dengan keterangan sehat, tidak mengidap penyakit menular seperti tifus, kolera dan tuberkulosis. Setiap pengelola harus memiliki buku pemeriksaan kesehatan yang diperiksakan pada instansi layanan kesehatan yang terkait dan terakreditasi. Kelompok penderita, tidak boleh dilibatkan dalam penanganan makanan, karena jenis penyakit menular dapat dipindahkan kepada orang lain melalui makanan yang diolah atau disajikan penderita. Rongga hidung manusia khususnya yang menderita sinusitis mengandung banyak *Staphylococcus*, bisul dan luka bernanah merupakan sumber potensial. (Kurniawan Agung, 2019).

Sebagai salah satu faktor eksplisit yang akan memengaruhi kualitas makanan, bila penjamah sakit atau pun bertindak sebagai karier dari penyakit infeksi, seperti demam tifoid, infeksi saluran pernapasan atas (ISPA), luka bisul ditangan, Pneumonia, diare, dan

lain-lain sehingga menjadi salah satu syarat jika seseorang berprofesi sebagai tenaga pengelola makanan. Pemeriksaan dilakukan adalah pengambilan usap dubur (*rectal swab*), untuk mencari beberapa bakteri enterik seperti *Salmonella sp*, *Shigella sp*, dan *Vibrio, sp*. Jika dalam pemeriksaan didapati bakteri tersebut, maka penjamah harus dihindari kontak dengan makanan, diberi cuti dan diobati. (A.Yun Qurrota, dkk, 2022)

### **8.3.2 Analisis Pencemar Terhadap Peralatan Makanan dan Minuman**

Peralatan makanan merupakan prinsip penyehatan makanan minuman. Alat makan yang terlihat bersih bukan merupakan jaminan telah memenuhi persyaratan kesehatan karena dalam alat makan tersebut kemungkinan telah tercemar bakteri yang menyebabkan alat makan tersebut tidak memenuhi syarat kesehatan. Kebersihan peralatan makan yang kurang baik akan mempunyai peranan penting dalam pertumbuhan dan perkembangbiakan kuman, penyebaran penyakit dan keracunan, untuk itu peralatan makan haruslah dijaga tingkat kebersihannya agar terhindar dari kontaminasi kuman patogen serta cemaran zat lainnya (Burni Endang, 2020).

Kewaspadaan terhadap peralatan makan terutama ditujukan terhadap aspek kebersihan, keutuhan dan kandungan logam berat yang berbahaya bagi kesehatan. Persyaratan untuk alat makan adalah (Irwan Djoko Windu, 2016):

1. Peralatan tidak rusak dan retak
2. Sebelum digunakan dalam keadaan bersih
3. Tidak mengandung unsur/logam berat yang berbahaya bagi kesehatan.
4. Permukaan peralatan makan harus rata dan halus (tidak ada yang berbentuk sudut mati)
5. Penyimpanan diperlukan dalam keadaan kering, bersih dan antikarat

## 6. Pencucian dengan menggunakan sabun/detergen

Alat makan banyak terkontaminasi oleh bakteri melalui (A.Yun Qurrota, dkk, 2022) (Indraswati Denok, 2016):

1. Air (proses pencucian) Air pencucian perantara penularan penyakit dan berbahaya, kecuali jika air cukup panas atau mengandung zat-zat anti bakteri. Pencucian dilakukan dengan tangan, ada tiga tahap pencucian:
  - a. Pembilasan atau pencucian sisa-sisa makanan untuk menjaga supaya air bilasan pencucian tetap bersih.
  - b. Pencucian dengan air panas suhu 110–120°F (88-96°C) dengan sabun atau detergen.
  - c. Pembilasan kembali, proses desinfeksi (pembersihan bakteri). Desinfeksi dapat dilakukan dengan cara:
    - Perendaman dengan air panas (170°F/136°C) yang bersih selama 2 menit.
    - Perendaman dengan larutan hangat chlorine dari hypoclorit dosis 50 ppm atau dosis 100 ppm dari chloramin, perendaman 2 menit. Jika diperlukan alat-alat tersebut dapat dibilas lagi dengan air bersih untuk menghilangkan bau chlor, baru kemudian dikeringkan di dalam keranjang atau rak pengering.
2. Penyimpanan (udara, lingkungan sekitar)
3. Penjamah (pengolah), semakin banyak penjamah akan semakin besar kemungkinan terjadinya kontaminasi.

## 8.4 Analisis Fisik, Kimia, Biologi, Sampel Makanan dan Minuman.

Analisa bahan makanan dan minuman adalah kegiatan yang dilakukan untuk mengetahui senyawa-senyawa yang terkandung dalam suatu bahan makanan dan minuman. Analisa bahan makanan dan minuman dapat dilakukan dengan tatacara kimiawi, fisik, nutrisi dan inderawi yang biasa dikenal dengan uji

organoleptic. Sehingga memiliki tatacara dan prosedur analisa yang harus dipenuhi untuk mendapatkan hasil yang tepat dan akurat (Burni Endang, 2020).

Pencemaran makanan dapat terjadi melalui tiga cara yaitu pencemaran langsung (*direct contamination*), pencemaran silang (*cross contamination*) dan pencemaran ulang (*recontamination*). Pencemaran langsung adalah bahan kontaminasi (bahan pencemar) secara langsung mencemari makanan disebut juga pencemaran secara fisik, contohnya batu kerikil, kayu, strapples, rambut dan lain sebagainya masuk ke dalam makanan. Pencemaran silang yaitu pencemaran terjadi secara tidak langsung, contohnya makanan mentah yang disimpan bersamaan dengan makanan matang sehingga bersentuhan dengan makanan jadi atau menggunakan peralatan kotor. Pencemaran ulang adalah pencemaran yang terjadi pada makanan yang matang dan siap dikonsumsi, tetapi karena penyajian makanan tidak tertutup sehingga makanan tersebut tercemar oleh kontaminasi lingkungan sekitar misalnya debu, binatang pengganggu, kecoak, lalat, serangga lainnya (Puspawati Catur, 2019).

#### **8.4.1 Analisis Fisik Sampel Makanan dan Minuman.**

Pencemaran fisik sering terjadi pada saat proses pengolahan makanan. Pencemaran langsung adalah bahan kontaminasi (bahan pencemar) secara langsung mencemari makanan disebut juga pencemaran secara fisik, contohnya batu kerikil, kayu, strapples, rambut dan lain sebagainya masuk ke dalam makanan.

#### **8.4.2 Analisis Kimia Sampel Makanan dan Minuman.**

Senyawa kimia akan mudah larut pada bahan kimia yang sama polaritasnya dengan zat terlarut. Sedangkan polaritas bahan kimia dapat berubah karena adanya proses kimia. Proses pengolahan makanan yang dapat mengakibatkan perubahan warna, rasa dan aroma. Untuk mengembalikan sifat-sifat alami

bahan makanan, dipakailah suatu bahan pelengkap makanan atau biasa disebut bahan tambahan makanan (food additive). Bahan tambahan makanan merupakan bahan yang biasanya tidak digunakan sebagai makanan dan biasanya bukan merupakan ingredien khas makanan yang dengan sengaja ditambahkan ke dalam makanan, teknologi pembuatan, pengolahan, penyimpanan, perlakuan, pengepakan, pengemasan, penyimpanan atau pengangkutan makanan, diharapkan menghasilkan secara langsung atau tidak langsung mempengaruhi sifat khas makanan tersebut (Indraswati Denok, 2016),

Monosodium glutamat (MSG) merupakan bahan kimia tambahan yang digunakan sebagai penguat rasa dapat memberikan rasa gurih dan nikmat pada berbagai macam masakan, walaupun masakan itu sebenarnya tidak memberikan rasa gurih yang berarti. Pengaruh penggunaan penyedap rasa yang berlebihan pada dasarnya menyebabkan gangguan leper dan kelainan darah, MSG yang berlebihan menimbulkan gangguan lambung, gangguan tidur dan mual-mual, dapat juga menimbulkan reaksi alergi, gatal-gatal dan dapat juga memicu hipertensi, asma, kanker serta diabetes serta penurunan kecerdasan (Indraswati Denok, 2016).

Penggunaan zat anti hama (pestisida) di bidang pertanian banyak digunakan memberantas, mencegah hama dan penyakit tanaman, serta hasil panen, penggunaan pestisida secara langsung maupun tidak langsung bahan pangan tersebut akan terkontaminasi oleh residu pestisida yang ditinggalkannya. Berbagai penelitian mengungkapkan adanya beberapa residu pestisida yang tertinggal dalam bahan pangan. Pestisida merupakan substansi kimia yang berupa zat atau campuran zat yang berbentuk gas, cair atau padat yang digunakan untuk membunuh, melindungi, mengontrol, mencegah atau mengurangi bentuk-bentuk kehidupan tanaman atau vektor serangga, hewan atau virus dan jamur tanaman. (Widyastuti Nurmasari, 2019)

### 8.4.3 Analisis Biologi (Mikroba) Sampel Makanan dan Minuman.

Mikrobiologi merupakan ukuran manajemen risiko pangan atau kinerja proses atau sistem keamanan pangan yang merupakan hasil dari pengambilan sampel dan pengujian mikroba. Mikroba dalam pangan olahan yang berasal dari makanan dan minuman yang dapat merugikan dan membahayakan kesehatan manusia. Pengujian mikroba berhubungan dengan patogenisitas atau sifat tertentu dalam suatu rantai pangan. Cemaran yang diakibatkan oleh mikroba meliputi (A.Yun Qurrota, dkk, 2022):

1. Angka lempeng total.
2. *Escherichia coli*.
3. *Salmonella sp*
4. *Staphylococcus aureus*.
5. *Bacillus cereus*.

Macam uji mikrobiologi dapat dilakukan terhadap bahan pangan yang setiap hari dikonsumsi dengan meliputi uji kuantitatif mikroba dengan menentukan daya tahan suatu makanan, uji kualitatif bakteri patogen untuk menentukan tingkat keamanan dan uji indikator untuk menentukan tingkat sanitasi makanan tersebut. Pengujian yang dilakukan terhadap tiap bahan pangan tidak sama tergantung berbagai faktor, seperti jenis dan komposisi bahan pangan, cara pengepakan, penyimpanan serta konsumsinya, kelompok konsumen dan berbagai faktor lainnya.

Metode *Most Probable Number* (MPN) biasanya dilakukan untuk menghitung jumlah mikroba di dalam makanan yang berbentuk cair, meskipun dapat pula digunakan untuk contoh berbentuk padat dengan terlebih dahulu membuat suspensi 1:10 dari contoh sampel. Metode MPN menentukan uji deretan tabung yang menyuburkan pertumbuhan koliform sehingga diperoleh nilai untuk menduga jumlah koliform dalam sampel yang diuji. Beberapa analisis komponen sel (protein, metabolit sekunder,

panas dan analisis konsumsi nutrisi (karbon, nitrogen, oksigen, asam amino, mineral). Beberapa metode lainnya yang digunakan untuk menganalisis mikroba pada makanan adalah Metode Usap alat, Metode swab rektal dan lain-lain (Puspawati Catur, 2019).

## DAFTAR PUSTAKA

- A.Yun Qurrota, dkk. 2022. Mikrobiologi Dasar. Medan: Yayasan Kita Menulis.
- Aliyah Fahmi. 2022. Analisis Makanan dan Minuman. Bandung: Widia Media Utama, ISBN: 978-623 459 002-9.
- Burni Endang. 2020. *Buku Pedoman Penyelidikan dan Penanggulangan Kejadian Luar Biasa Penyakit Menular dan Keracunan Pangan (Pedoman Epidemiologi Penyakit) Edisi Revisi III 2020*. Jakarta: Subdit Surveilans Direktorat Surveilans dan Karantina Kesehatan Direktorat Jendral Pencegahan dan Pengendalian Penyakit Kemenkes Republik Indonesia.
- Ibrahim Ratna. 2012. *Buku Ajar sanitasi dan Higiene*. Semarang: UPT UNDIP Press semarang.
- Indraswati Denok. 2016. *Kontaminasi Makanan ( Food Contamination) oelh Jamur*. Yogyakarta: Forum Ilmiah Kesehatan (forikes).
- Irwan Djoko Windu. 2016. *Pringsip-pringsip Hygiene Sanitasi Makanan Minuman di Rumah Sakit*. Yogyakarta: Forum Ilmiah Kesehatan ( Forikes).
- Kurniawan Agung. 2019. *Dasar-Dasar Analisis Kualitas Lingkungan*. Malang: Wineka Media.
- Patilayyah Hairudin dkk. 2022. *Higiene Sanitasi dan Keselamaytan Kesehatan Kerja (K3)*. Padang Sumatera Barat: PT Global EksekutifTeknologi, ISBN 978-623 3383 866.
- Puspawati Catur. 2019. *Kesehatan Lingkungan Teori dan aplikasi*. Jakarta: Buku Kedokteran EGC.
- Suryono Hadi dkk. 2019. *Modul Praktikum Teknik Pengambilan Sampel*. Surabaya: HAKLI Provinsi Jawa Timur.

Widyastuti Nurmasari. 2019. *Higiene dan Sanitasi dalam Penyelenggaraan Makanan / higiene dan Sanitasi Makanan*. Yogyakarta: K - Media.



# **BAB 9**

## **KUALITAS LINGKUNGAN**

### **PENGELOLAAN MAKANAN DAN MINUMAN**

*Oleh Asrijun Juhanto*

#### **9.1 Pentingnya Penyehatan Makanan dan Minuman**

Bahan pangan atau bahan makanan dan minuman adalah hal hakiki dalam kehidupan manusia. Perkembangan perjalanan sejarah bahan pangan sejalan dengan perkembangan peradaban manusia. Pada tahap awal peradaban manusia, makanan utamanya ditujukan untuk mempertahankan kehidupan dan bahkan dalam konteks kebutuhan, bahan makanan pangan disebut sebagai kebutuhan utama dalam kehidupan manusia. Hal ini berarti pangan adalah hal yang sangat pokok dalam menjalani kehidupan manusia, yang kemudian berkembanglah kebutuhan lain sesuai tuntutan tambahan dalam kehidupan. Bahan pangan, makanan dan minuman merupakan kebutuhan dasar manusia untuk melanjutkan kehidupan. Makanan yang dibutuhkan harus sehat dalam arti memiliki nilai gizi yang optimal seperti mineral, karbohidrat, lemak, vitamin dan lainnya. Makanan harus murni dan utuh dalam arti tidak mengandung bahan pencemar atau yang terkontaminasi dengan zat lain yang dapat berbahaya serta harus higienis. Bila salah satu faktor tersebut terganggu, maka makanan atau minuman yang dihasilkan akan menimbulkan gangguan kesehatan dan penyakit bahkan dapat menimbulkan keracunan pada manusia atau konsumen yang memakan makanan atau minuman tersebut.

Sekarang ini, bahan pangan sudah tidak lagi hanya diperuntukkan untuk memenuhi kebutuhan akan nutrisi tetapi juga diharapkan memberikan efek tambahan terutama terhadap kesehatan manusia. Hal inilah penyehatan makanan (bahan pangan) memegang peranan penting untuk menjamin ketersediaan bahan pangan yang tidak hanya sehat, tetapi juga akan memberikan dampak keamanan dalam konteks tidak memberikan dampak yang merugikan bagi manusia. Jadi, penyehatan bahan pangan, tidak hanya bagaimana menyediakan bahan pangan makanan minuman yang menyehatkan tetapi juga makanan yang aman dan lebih penting lagi dalam menyediakan bahan pangan yang sesuai dengan kebutuhan manusia untuk berkembang dan bertumbuh.

Penyehatan makanan adalah upaya mengendalikan faktor makanan, minuman, orang, tempat dan perlengkapan yang dapat atau mungkin menimbulkan penyakit atau gangguan kesehatan. Makanan dan minuman yang disajikan bukan hanya bergizi dan dalam bentuk yang menarik, tetapi kualitas pencucian peralatan makan yang hygiene. Makanan yang saniter apabila diletakkan pada alat makan yang tidak terkontaminasi mikroorganisme yang berbahaya terhadap bahan makanan tersebut. Sebaliknya, bahan makanan yang diletakkan pada tatanan tempat yang kurang bersih, akan terkontaminasi mikroorganisme yang dapat merusak kandungan nilai gizi yang terdapat pada makanan tersebut. Apalagi jika didukung oleh lingkungan yang memungkinkan untuk perkembangan mikroorganisme, dalam keadaan tubuh yang kurang sehat, hal ini dapat memungkinkan terjadinya penularan penyakit melalui makanan yang dapat dimungkinkan terdapat kuman atau bakteri patogen yang sangat berbahaya terhadap kesehatan manusia, salah satunya terdapat di bakteri *Escherichia coli*, *salmonella*, dan bakteri patogen lainnya.

## **9.2 Pengetahuan Tentang Keamanan Pangan**

Higiene adalah suatu usaha kesehatan masyarakat yang mempelajari kondisi lingkungan terhadap kesehatan manusia, upaya mencegah timbulnya penyakit karena pengaruh lingkungan kesehatan tersebut, serta membuat kondisi lingkungan sedemikian rupa sehingga terjamin pemeliharaan kesehatan. Persyaratan higiene sanitasi makanan dan minuman merupakan ketentuan ketentuan teknis yang ditetapkan terhadap produk rumah makan dan restoran dan perlengkapannya. Aspek higiene sanitasi makanan dan minuman tersebut meliputi persyaratan bakteriologis, kimia serta fisika (Kepmenkes RI, 2003).

Higiene dan sanitasi makanan dan minuman adalah dua istilah yang berbeda. Istilah higiene dan sanitasi tidak dapat dipisahkan satu dengan yang lainnya, karena sangat erat kaitannya. Ditinjau dari Ilmu Kesehatan Lingkungan istilah higiene dan sanitasi mempunyai perbedaan pengaruh kondisi lingkungan terhadap kesehatan manusia, upaya tersebut, membuat kondisi lingkungan sedemikian rupa sehingga terjamin pemeliharaan kesehatan. Menurut Depkes RI, (2003) Higiene adalah upaya kesehatan dengan cara memelihara dan melindungi kebersihan subyeknya seperti mencuci tangan dengan air bersih dan sabun untuk melindungi kebersihan piring, membuang bagian makanan yang rusak untuk melindungi keutuhan makanan secara keseluruhan. Sedangkan sanitasi adalah upaya kesehatan dengan cara memelihara kebersihan lingkungan dari subyeknya. Misalnya menyediakan air yang bersih untuk keperluan mencuci, menyediakan tempat sampah untuk membuang sampah agar sampah tidak dibuang sembarangan.

Berdasarkan pengertian di atas bahwa higiene adalah upaya kesehatan dengan cara memelihara dan melindungi kebersihan subyeknya/individu. Misalnya mencuci tangan untuk melindungi kebersihan tangan, cuci piring untuk melindungi kebersihan piring, membuang bagian makanan yang rusak untuk

melindungi keutuhan makanan secara keseluruhan. Sedangkan Sanitasi Makanan adalah salah satu usaha pencegahan yang menitikberatkan kegiatan dan tindakan yang perlu untuk membebaskan makanan dan minuman dari segala upaya yang dapat mengganggu atau merusak kesehatan, mulai dari sebelum makanan diproduksi, selama dalam proses pengolahan, penyimpanan, pengangkutan, sampai dimana makanan dan minuman tersebut siap untuk dikonsumsi masyarakat atau konsumen.

Pengetahuan tentang penyakit yang ditularkan makanan dapat digunakan untuk mengembangkan strategi pencegahan terkontaminasi makanan dengan mikroorganisme yang berbahaya bagi kesehatan. Intervensi dapat dilakukan pada semua tingkat pengolahan makanan, dari saat pemeliharaan sampai panen dan pemotongan ternak, transformasi serta pengolahan, distribusi dan penyimpanan, untuk dijual eceran dan pada institusi penyedia jasa boga, di restoran dan di rumah. Para ahli gizi berperan utama dalam pencegahan penyakit yang ditularkan makanan dengan alasan inilah, maka keamanan makanan dan minuman dapat dikembangkan. Mereka harus belajar tentang masalah-masalah yang berkaitan dengan kebiasaan makan setempat, kondisi sosial dan praktek-praktek keagamaan, sebagai contoh, di beberapa negara berkembang, kebanyakan makanan yang dikonsumsi di rumah tangga berasal dari penjual makanan jalanan.

Para ahli gizi telah mengetahui bagaimana menentukan dimana kontaminasi dapat terjadi, atau mikroorganisme apa yang dapat tumbuh dan berkembang, serta bagaimana mencegah hal ini terjadi. Pendekatan dari Analisis Bahaya pada Titik Pengendalian Kritis (ABTPK), seperti yang diuraikan sebelumnya, agar dapat menjamin keamanan mikrobiologis.

Sanitasi makanan adalah upaya – upaya yang ditujukan untuk kebersihan dan keamanan makanan agar tidak menimbulkan bahaya keracunan dan penyakit pada manusia,

maka sanitasi makanan adalah salah satu usaha pencegahan yang menitik beratkan kegiatan dan tindakan yang perlu untuk membebaskan makanan dan minuman dari segala bahaya yang dapat mengganggu kesehatan manusia, mulai dari sebelum makanan diproduksi, selama dalam proses pengolahan, pengangkutan, penyimpanan, penjualan makanan, sistem kemasan atau pada saat makanan dan minuman tersebut siap untuk dikonsumsi oleh masyarakat/konsumen.

Prinsip dalam pengolahan makanan antara lain tersedianya meja kerja untuk peracikan makanan, meja terbuat dari bahan yang kuat dan tahan goresan, meja yang mudah dibersihkan dari sisa – sisa bahan makanan, peralatan pengolahan makanan yang sudah dalam keadaan bersih, tempat pengolahan yang tidak terhubung langsung dengan dengan jamban serta tersedianya termos tertutup untuk es batu sehingga kemungkinan terkontaminasi makanan dan minuman oleh mikroba dapat dihindarkan. Makanan harus disimpan di tempat yang bersih dan tertutup, seperti lemari makan ataupun lemari es (kulkas). Saat penyajian makanan, makanan harus diletakkan dalam wadah tertutup yang bersih dan kering, menggunakan alat yang bersih saat mengambil makanan, dan tidak menutup makanan dengan koran bekas atau plastik bekas pakai.

Kualitas lingkungan pengelolaan makanan dan minuman sangat berperan penting dalam menjaga mutu dan kualitas makanan minuman terutama dalam segi kesehatan makanan dan minuman sebelum dikonsumsi oleh manusia. Ada 6 prinsip pengelolaan bahan makanan minuman untuk mencapai tujuan makanan dan minuman yang sehat, yaitu:

1. Lokasi tempat pengelolaan makanan

Tempat pengelolaan makanan harus memenuhi syarat sanitasi menyeluruh yaitu meliputi konstruksi bangunan, jarak antara jalan raya dengan tempat pengolahan makanan

serta jarak tempat pengolahan makanan dari tempat pembuangan sementara atau tempat pembuangan akhir sampah.

## 2. Penyimpanan bahan makanan

Penyimpanan bahan makanan penting, terutama pada jenis makanan atau minuman yang rawan terhadap pembusukan. Faktor yang mempengaruhi adalah suhu serta kelembaban, sehingga dalam penyimpanan bahan makanan dapat memperhatikan faktor-faktor seperti suhu yang dipergunakan untuk bahan mentah, kelembaban penyimpanan ruangan 80-90%, serta sanitasi tempat penyimpanan bahan makanan yang bersih dan bebas dari vektor serta binatang pengganggu.

## 3. Fasilitas sanitasi

Fasilitas sanitasi yang harus diperhatikan yaitu kelempakan sarana sanitasi yang tersedia di tempat pengelolaan makanan tersebut meliputi sarana pembuangan sampah, sarana air bersih yang harus memenuhi syarat kesehatan yaitu tidak berbau, tidak berasa dan tidak berwarna serta adanya sarana pembuangan air limbah

## 4. Peralatan

Prinsip dasar persyaratan perlengkapan/peralatan makanan dalam pengolahan makanan adalah aman sebagai alat perlengkapan/peralatan pemrosesan makanan Aman ditinjau dari bahan yang digunakan dan juga dari desain perlengkapan tersebut. Permukaan peralatan yang kontak langsung dengan makanan harus mudah dibersihkan. Peralatan tersebut harus dibersihkan dengan menggunakan sabun cuci serta dilakukan pengeringan peralatan dan posisi penyimpanan peralatan harus benar agar peralatan tidak mudah karat.

## 5. Proses pengolahan makanan minuman

Dari segi kesehatan dan sanitasi makanan, maka cara pengolahan yang baik memperhatikan hal-hal yaitu cara mengolah makanan yang baik, nilai nutrisi yang memenuhi syarat, cara pengolahan yang menjaga kebersihan, menerapkan dasar-dasar higiene makanan dan minuman, menerapkan higiene sanitasi perorang bagi penjamah makanan dan minuman dalam pengolahannya, serta melarang penjamah makanan berpenyakit kulit atau mempunyai luka pada tangan serta jari untuk bekerja sebagai penjamah makanan.

6. Bahan dasar

Bahan dasar adalah bahan mentah (bahan baku) dan keadaan bahan makanan merupakan proses untuk mendapatkan makanan dan minuman jadi. Pengamanan bahan makanan dan minuman secara praktis adalah menjaga dari adanya kerusakan. Disamping itu, menjaga agar terhindar dari adanya pencemaran baik yang terbawa oleh makanan dan minuman maupun oleh faktor lingkungan yang masuk ke dalam makanan atau minuman.

### **9.3 Bahan Berbahaya dalam Makanan dan Minuman**

1. *Bahaya bahan biologis*

Tiap tahun, diperkirakan 3,2 juta anak meninggal oleh karena diare dan jutaan anak menderita malnutrisi oleh karena/berulang kali mengalami episode diare. Masalah ini dikaitkan dengan buruknya kualitas air dan sanitasi yang kurang memadai, meskipun makanan saat ini telah dikenal sebagai jalur utama penularan diare, yaitu hingga 70% kasus. Di negara-negara industri, meskipun telah dicapai kemajuan sejak awal abad ini dalam hal sanitasi, namun diare masih terus meningkat dan menyerang seluruh lapisan masyarakat. Kebanyakan gastroenteritis di negara-

negara industri disebabkan oleh *Campylobacter jejuni* dan *Salmonella spp.* Bakteri patogen lain yang penularannya berlangsung dari feses ke makanan seperti misalnya *Salmonella typhi*, *Shigella spp* dan *Vibrio cholerae* jarang sebagai penyebab dan biasanya dialami oleh mereka yang bepergian ke negara berkembang.

Dalam dunia yang sedang mengalami industrialisasi, pola-pola penyakit yang ditularkan makanan telah berubah seiring dengan berubahnya cara persiapan makanan dan pola konsumsi. Sebagai contoh, konsumsi susu mentah untuk alasan kesehatan telah menyebabkan campylobacteriosis dan salmonellosis daging mentah, dan anisakiasis di Amerika Utara dikaitkan dengan diperkenalkannya konsumsi sushi (daging mentah). Perubahan kebiasaan makan di negara-negara bukan industri dapat memberikan masalah yang serupa. Pencegahan penyakit yang ditularkan lewat makanan merupakan hal yang penting sebab keadaan ini dapat mempengaruhi dan menurunkan status gizi jangka pendek dan jangka panjang.

## 2. *Bahaya Bahan kimia*

Agar bergizi dan aman, makanan tidak saja harus bebas dari bahaya mikrobiologi namun juga harus bebas dari kontaminasi bahan-bahan kimia alami dan sintetis. Banyak negara telah memperkenalkan peraturan untuk mengatasi masalah pemalsuan pangan, penggunaan pestisida, hormon, antibiotika serta bahan kimia buatan manusia. Bahan-bahan tambahan pada makanan seperti misalnya pemanis, pewarna, antioksidan, formalin, boraks dan bahan kimia lain yang digunakan dalam pemrosesan bahan makanan untuk memperbaiki kualitas, keamanan atau ketahanan, telah diatur penggunaannya.

Pada saat ini perhatian terhadap lingkungan, telah menyebabkan munculnya peraturan tentang logam berat dan radioisotop. Negara-negara berkembang juga mempunyai beberapa masalah-masalah khusus yang berkaitan dengan kebiasaan setempat, seperti misalnya penggunaan pelapis kaca yang mengandung timah oksida pada pembuatan barang pecah belah dari tanah. Pemalsuan makanan masih merupakan masalah pada beberapa negara berkembang. Di Indonesia, beberapa minuman yang dijual oleh penjaja makanan jalanan mengandung pewarna tekstil atau bahan pewarna lain yang dilarang. Banyak makanan mengandung toksin alamiah atau faktor-faktor anti-gizi. sebagai contoh ubi kayu (*Manihot esculenta*) mengandung glukosida sianogenik yang harus dihilangkan sebelum dikonsumsi. Para ahli gizi mungkin akan berhadapan dengan masalah-masalah tersebut dan harus mengetahui tentang masalah-masalah itu. Beberapa individu sensitif terhadap bahan-bahan yang terdapat dalam makanan. Telah dicatat adanya hipersensitifitas terhadap sulfit, dan bahkan dalam jumlah kecil mampu mencetuskan reaksi yang membahayakan jiwa. Beberapa orang sensitif terhadap bahan makanan alami seperti kacang misalnya, atau komponen dalam makanan seperti misalnya gluten dalam tepung terigu.

## **9.4 Pertumbuhan Mikroorganisme**

Mikroorganisme adalah zat renik, merupakan makhluk hidup sederhana yang terbentuk dari satu atau beberapa sel, berupa tumbuhan atau hewan yang biasanya hidup secara parasit, misalnya bakteri, amuba dan kapang. Mikroorganisme ini sangat penting di dalam sistem penyehatan bahan pangan makanan dan minuman, beberapa penyakit akibat konsumsi bahan pangan disebabkan karena adanya mikroorganisme tertentu. Mikroba ada

dimana-mana seperti : udara, air, makanan, tanah, manusia (usus, kulit, hidung), permukaan suatu benda atau bahan pangan. Dengan pembelahan yang cepat mikroorganisme berkembang biak dengan cepat dan kadang-kadang menghasilkan toksin, dengan ukuran dan massa yang kecil mikroorganisme dapat berpindah dengan mudah.

Mikroorganisme tertentu dapat diasosiasikan dengan tempat yang menyokong perkembangbiakannya. Sebagai contoh, Mikroorganisme yang dapat bertahan pada suhu tinggi dapat ditemukan di sumber air panas, dimana sebetulnya Mikroorganisme tidak dapat hidup di dalamnya. Beberapa diantaranya juga dapat tumbuh pada suhu rendah. Secara ekologis, mikroorganisme dalam bahan pangan adalah sebuah sistem yang sangat kompleks dimana terjadi interaksi antar mikroorganisme dengan matrik bahan pangan dan antar mikroorganisme (*quorum sensing*), di mana setiap mikroorganisme mempunyai suatu fungsi ekologis. Oleh karena itu, mikroorganisme dalam bahan pangan atau mikroorganisme pangan adalah sangat kompleks. Sehingga dalam sistem ekologis dijelaskan bahwa, Mikroorganisme dipergunakan secara luas dalam produksi makanan, terutama makanan yang terfermentasi seperti ; daging fermentasi (sisis), yoghurt, keju, bir, roti, oncom, sayur asin, tempe, kecap, tape dan lain-lain mempunyai manfaat dalam hal menciptakan bahan pangan yang lebih awet, lebih enak, dan mempunyai nilai gizi dan nilai cerna yang lebih baik dari bahan bakunya. Mikroorganisme juga telah dipergunakan untuk menghilangkan zat anti nutrisi dan racun alamiah pada bahan pangan seperti glukosida pada singkong dihilangkan dengan pengolahan menjadi tape, atau antitripsin pada kedelai dikurangi dengan cara fermentasi menjadi tempe dan sebagainya.

Sebaliknya mikroorganisme yang tumbuh pada bahan pangan bisa menyebabkan intoksikasi karena racun yang dibentuk oleh mikroorganisme kedalam bahan pangan yang

meracuni manusia serta bisa menyebabkan infeksi, di mana keracunan terjadi setelah mikroorganisme masuk kedalam perut dan berkembang biak sampai menyebabkan keracunan. Golongan pertama umumnya disebabkan oleh jenis mikotoksin (racun dari kapang seperti: *Aspergillus* spp., *Fusarium* spp., dan *Penicillium* spp. Serta bakteri pembentuk racun dari golongan *Clostridium* spp.) sementara yang kedua umumnya disebabkan oleh bakteri patogen seperti salmonella, E.coli.

Sebagian besar mikroorganisme yang kita amati seringkali tidak terbatas pada suatu habitat yang tunggal. Pada bagan di atas dapat diketahui bahwa ada satu siklus kontaminasi, siklus kehidupan, serta siklus penyebaran dan perkembangbiakan di lingkungan alam. Diagram di atas adalah mengenai kuman *Salmonella*, tetapi hal yang sama dapat terjadi pula untuk mikroorganisme lain. Meskipun kemampuan tumbuh suatu mikroorganisme tidak dapat dibatasi, ada beberapa tempat yang pada umumnya menjadi tempat perindukannya, dan kita sebut sebagai reservoir. Usus manusia dan binatang adalah contoh dari reservoir tersebut. Bagaimanapun, beberapa tempat dengan suhu hangat dan cukup nutrisi dan air dapat menjadi reservoir yang baik bagi mikroorganisme.

## **9.5 Penyakit Dapat Ditularkan Melalui Makanan dan Minuman**

Telah diketahui bahwa keadaan alam Indonesia yang hangat dan lembab adalah kondisi yang sangat baik bagi pertumbuhan mikroorganisme. Secara umum, ada beberapa jenis mikroorganisme patogen yang paling sering menyebabkan keracunan bahan pangan. Langkah pengawetan bahan pangan dapat juga menyebabkan terjadinya perubahan (mutasi) pada jenis patogen sehingga timbulnya galur-galur khusus (strain baru) yang justru lebih berbahaya dari galur

induknya. Beberapa jenis patogen utama yang menyebabkan keracunan bahan pangan serta beberapa patogen khusus yang terdapat pada produk-produk tertentu seperti daging, unggas, sayuran, sereal, dan lain sebagainya. Namun, kejadian akibat konsumsi bahan pangan di Indonesia masih belum banyak tercatat dengan baik sehingga menyulitkan dalam mencari data dan merancang suatu proses penanganannya yang terintegrasi dan melibatkan semua sektor terkait. Sehingga kejadian setiap periode tidak bisa terekam dengan baik yang mengakibatkan terjadinya kasus serupa oleh patogen yang sama berulang-ulang.

Penyakit bawaan makanan (foodborne disease), biasanya bersifat toksik maupun infeksius, disebabkan oleh agens penyakit yang masuk ke dalam tubuh melalui konsumsi makanan yang terkontaminasi. Kadang-kadang penyakit ini disebut “keracunan makanan” (food poisoning) walaupun istilah ini tidak tepat. Penyakit bawaan makanan mencakup lingkup penyakit yang etiologinya bersifat kimiawi maupun biologis, termasuk penyakit kolera dan diare, sekaligus beberapa penyakit parasit. Penyakit bawaan makanan merupakan salah satu permasalahan kesehatan masyarakat yang paling banyak dan paling membebani yang pernah dijumpai di zaman modern ini. Penyakit tersebut meminta banyak korban dalam kehidupan manusia dan menyebabkan sejumlah besar penderitaan, khususnya di kalangan bayi, anak, lansia, dan mereka yang kekebalan tubuhnya terganggu. Tingkat keparahan (besaran) dan konsekuensi penyakit bawaan makanan ini kerap kali diremehkan oleh pihak berwenang di bidang kesehatan masyarakat. Baru dalam beberapa tahun terakhir ini saja, sebagai akibat dari kejadian luar biasa (KLB) penyakit bawaan makanan (misalnya KLB infeksi *Escherichia coli*, strain enterohemoragik, listeriosis, salmonellosis, dan kolera), kesadaran beberapa negara

terhadap pentingnya penyakit ini bagi kesehatan masyarakat mulai meningkat. Walaupun demikian, sarana dan prasarana untuk upaya pencegahan penyakit bawaan makanan masih kurang tersedia. Selain itu, yang patut disesalkan adalah bahwa negara yang memikul beban terbesar permasalahan ini juga merupakan negara yang sumber dayanya paling sedikit untuk mencegah kejadian penyakit tersebut.

Ada beberapa faktor utama yang mempengaruhi penyakit yang ditularkan melalui makanan yaitu :

- a. Kontaminasi termasuk kontaminasi-silang
- b. Peralatan yang tidak bersih
- c. Makanan yang tidak sehat/bergizi
- d. Kontaminasi bahan kimia
- e. Serangga / tikus
- f. Penjamah yang terinfeksi

Penangan makanan memegang peranan yang sangat penting dalam penyehatan makanan dan minuman. Penanganan dengan suhu/waktu yang tidak tepat; pemasakan, pendinginan, pemanasan kembali yang tidak cukup atau persiapan makanan yang terlalu awal. Sehingga penangan yang tidak sesuai merupakan faktor utama yang menyebabkan wabah atau keracunan bahan pangan dan minuman.

Pada beberapa makanan, seperti buah-buahan dan sayur-sayuran, kondisi terbaik adalah bila dimakan mentah atau dalam keadaan alamiah, tetapi makanan lain tidak aman bila dimakan mentah, kecuali bila telah diproses. Sebagai contoh, belilah susu yang telah dipasteurisasi daripada susu mentah dan bila memungkinkan, pilihlah daging unggas yang telah di radiasi ionisasi. Ingat bahwa pemrosesan makanan bertujuan untuk meningkatkan keamanan dan memperpanjang masa kadaluwarsa. Beberapa makanan yang dikonsumsi mentah, seperti daun slada, perlu dicuci dengan sempurna.

Banyak makanan mentah, khususnya daging unggas, ternak, telur dan susu yang tidak dipasteurisasi, seringkali terkontaminasi dengan patogen penyebab penyakit. Pemasakan yang sempurna akan membunuh patogen, tetapi perlu diingat bahwa *suhu pada seluruh bagian makanan* tersebut harus mencapai sedikitnya 70°C. Bila daging ayam yang telah dimasak masih mentah disekitar tulangnya, masukan kembali ke dalam alat pemanggang sampai daging tersebut benar-benar matang. Daging beku, ikan dan daging unggas harus dilepas-bekukan secara sempurna sebelum dimasak.

Ketika makanan yang baru dimasak didinginkan sampai suhu kamar, mikroorganisme mulai berkembang biak. Semakin lama disimpan di suhu kamar, semakin besar resikonya. Supaya aman, makanlah makanan segera setelah selesai dimasak. Jika Anda menyiapkan makanan lebih awal atau ingin menyimpan sisanya lebih dari 4-5 jam, simpanlah makanan dalam keadaan panas (di atas 60°C) atau dingin (di bawah 10°C). Penyimpanan yang baik memperlambat pertumbuhan mikroorganisme bukan membunuhnya. Pemanasan kembali makanan hingga seluruh bagian mencapai 70°C adalah perlindungan terbaik untuk melawan berkembangbiaknya mikroorganisme selama penyimpanan.

Makanan matang dapat terkontaminasi oleh makanan mentah. Makanan matang dapat juga terkontaminasi melalui kontak yang tidak langsung melalui pisau dan alas papan potong yang sebelumnya digunakan untuk memotong daging ayam matang tanpa dicuci terlebih dahulu.

Permukaan dapur yang digunakan untuk menyiapkan makanan harus selalu bersih. Kain pembersih yang sering kontak dengan piring dan alat masak harus diganti setiap hari dan direbus sebelum digunakan kembali. Untuk membersihkan lantai, gunakan kain yang terpisah dan kain tersebut juga harus sering dicuci. Binatang-binatang sering sebagai pembawa mikroorganisme patogen yang menyebabkan penyakit yang ditularkan makanan.

Penyimpanan makanan dan minuman seharusnya disimpan dalam kemasan tertutup. Air bersih untuk persiapan tambahan bahan makanan dan minuman adalah sangat penting dalam menjaga kebersihannya. Jika kurang yakin dengan kebersihannya terhadap keamanan sumber air di rumah atau dimanapun, rebuslah air terlebih dahulu sebelum ditambahkan ke makanan atau minuman.

## **9.6 Penjamah Makanan dan Minuman**

Penjamah makanan memegang peranan yang sangat penting dalam penyehatan makanan dan minuman karena penjamah makanan adalah reservoir dari mikroorganisme patogen. Mengidentifikasi penyakit-penyakit yang bersumber dari penjamah makanan dan minuman untuk mencegah penyebaran infeksi karena penjamah makanan bisa dilakukan dengan menekankan pentingnya pendidikan dan pelatihan pada seluruh rangkaian produksi makanan. Seorang yang terinfeksi boleh menangani makanan secara aman bila standar kebersihan perorangannya (personal hygiene) cukup tinggi. Cara yang paling efektif untuk mencegah transmisi oleh penjamah makanan adalah dengan mensyaratkan mereka untuk mempunyai kebersihan perseorangan yang baik.

Penjamah makanan dan minuman seharusnya mencuci tangan secara sempurna, sebelum menyiapkan makanan dan minuman. Setiap kali berhenti terutama jika harus mengganti popok bayi atau harus ke kamar kecil, atau setelah menyiapkan makanan mentah seperti ikan, daging ternak atau daging unggas, mencuci tangan pada air mengalir dengan memakai sabun sebelum menangani makanan yang lain. Balutlah bila ada luka infeksi pada tangan menjamah makanan. Ingatlah bahwa binatang peliharaan sering sebagai pembawa patogen berbahaya, yang dapat masuk ke makanan melalui tangan penjamah makanan dan minuman.

## DAFTAR PUSTAKA

- Budiyono, dkk. Tingkat Pengetahuan Dan Praktik Penjamah Makanan Tentang Hygiene Dan Sanitasi Makanan Pada Warung Makan Di Tembalang Kota Semarang Tahun 2008. Jurnal Promosi Kesehatan Indonesia.2009:4(1); 50 – 60.
- Chandra. B. Pengantar Kesehatan Lingkungan. Jakarta : Penerbit Buku Kedokteran EGC. 2014.
- Kurniadi.Y, Saam.Z,Afandi.D. Faktor Kontaminasi E-Coli Pada Makanan Jajanan Di Lingkungan Kantin Sekolah Dasar Wilayah Kecamatan Bangkinang. Jurnal Ilmu Lingkungan. 2013:7(1); 28 – 37.
- Kusuma.A, Kusnoputranto. H, Djaja.I.M, Syarief.R. Kondisi Sanitasi Lingkungan Perumahan dan Kontaminasi Esherichia coli Pada Penyajian Makanan Pendamping Air Susu Ibu Lokal. Jurnal Kesehatan Masyarakat Nasional. 2013:7(7); 291 – 297.
- Mulia. R.M. Kesehatan Lingkungan. Yogyakarta : Graha Ilmu. 2005.
- Rahayu, W.P. Kebijakan keamanan pangan pada hotel dan restoran. Paper presented on One day seminar on food safety in hotel, restaurant and hospital. Sanur Plaza Paradize, 24 Aug. 2005
- Setyorini.E. Hubungan Praktek Higiene Pedagang Dengan Keberadaan Escherichia Coli Pada Rujak Yang Di Jual Di Sekitar Kampus Universitas Negeri Semarang.Unnes Journal Of Public Health.2013:2(3); 1 – 8.
- Suryani.D. Keberadaan Angka Kuman Ikan Bawal Bakar Dan Peralatan Makan Bakar.Jurnal Kesehatan Masyarakat.2014:9(2);191 – 196.

Tumelap. H.J. Kondisi Bakteriologik Peralatan Makan Di Rumah Makan Jombang Tikala Manado. Jurnal Kesehatan Lingkungan. 2011:1(1); 20 – 28.



# **BAB 10**

## **KUALITAS LINGKUNGAN DI TEMPAT-TEMPAT UMUM**

*Oleh Elsa Yuniarti*

### **10.1 Pendahuluan**

Permasalahan sanitasi yang ada di negara berkembang disebabkan beberapa faktor diantaranya adalah minimnya perhatian dan prioritas yang diberikan oleh pemerintah atau dinas terkait pada sektor sanitasi, minimnya ketersediaan air bersih dan sanitasi, minimnya ketersediaan ruang, perilaku kebersihan yang masih minim, serta sanitasi yang tidak memadai di tempat-tempat umum seperti sekolah, rumah sakit, puskesmas, masjid, tempat rekreasi, restoran dan lain-lain (Itchon, 2013).

Sanitasi tempat-tempat umum merupakan masalah kesehatan masyarakat yang paling cukup mendesak karena tempat umum merupakan tempat bertemunya segala macam masyarakat dengan segala penyakit yang dimiliki oleh masyarakat tersebut. Oleh sebab itu maka tempat umum merupakan tempat menyebarnya segala penyakit terutama penyakit-penyakit yang medianya makanan, minuman, udara dan air. Dengan demikian syarat kesehatan dalam arti melindungi, memelihara, dan mempertinggi derajat kesehatan masyarakat. Tempat-tempat umum mempunyai potensi sebagai tempat terjadinya penularan penyakit, pencemaran lingkungan, ataupun gangguan kesehatan lainnya. Pengawasan atau pemeriksaan sanitasi tempat-tempat umum dilakukan untuk mewujudkan lingkungan tempat-tempat umum yang bersih guna melindungi kesehatan masyarakat dari

berbagai kemungkinan penularan penyakit dan gangguan kesehatan lainnya (Ikhtiar, 2017).

Penyelenggaraan persyaratan kesehatan lingkungan pada tempat-tempat umum merupakan bagian dari upaya yang harus dilakukan dalam peningkatan derajat kesehatan masyarakat. Tempat-tempat umum terdiri dari berbagai macam jenis salah satunya adalah objek wisata. Objek wisata merupakan suatu tempat berupa bangunan kuno yang terdiri dari peninggalan sejarah kuno, bangunan modern, pemancingan kebun binatang, dan lain-lain digunakan untuk kegiatan pariwisata beserta kelengkapan lainnya yang dikelola secara profesional.

## **10.2 Kualitas Lingkungan**

Kualitas lingkungan adalah hal penting dalam kehidupan manusia. Lingkungan yang sehat dan lestari berkontribusi pada kesejahteraan manusia dan kelangsungan hidup spesies lain di planet ini. Namun, dengan pertumbuhan populasi dan aktivitas manusia yang meningkat, tantangan terhadap kualitas lingkungan juga semakin besar. Pentingnya menjaga dan meningkatkan kualitas lingkungan serta peran kita sebagai individu dalam mencapai tujuan tersebut. Kualitas lingkungan mempengaruhi kesehatan dan kesejahteraan manusia secara langsung. Udara yang tercemar, air yang terpolusi, dan tanah yang terdegradasi dapat memiliki dampak negatif pada kesehatan manusia, seperti masalah pernapasan, penyakit kulit, dan risiko terkena kanker. Selain itu, lingkungan yang buruk juga berdampak pada kehidupan satwa liar dan ekosistem, mengancam keberlanjutan planet ini (Ikhtiar, 2017).

Meskipun isu lingkungan mungkin tampak kompleks, setiap individu memiliki peran penting dalam meningkatkan kualitas lingkungan. Berikut adalah beberapa langkah yang dapat diambil yaitu Hemat Energi: Mengurangi penggunaan energi fosil dengan mematikan peralatan listrik yang tidak digunakan, menggunakan

lampu hemat energi, dan memilih kendaraan ramah lingkungan seperti sepeda atau kendaraan listrik. Daur Ulang dan Mengurangi Limbah: Mengurangi penggunaan plastik sekali pakai, mendaur ulang kertas, plastik, dan logam, serta membuang sampah dengan benar. Mengurangi limbah mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Menjaga Sumber Daya Air: Menghemat air dengan memperbaiki keran yang bocor, menggunakan shower yang hemat air, dan menghindari pemborosan air. Air merupakan sumber kehidupan, dan melindunginya sangat penting. Mendukung Energi Terbarukan: Mendorong dan menggunakan energi terbarukan, seperti tenaga surya dan tenaga angin, membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengatasi perubahan iklim. Menghormati Alam: Menghargai keanekaragaman hayati dan menghindari aktivitas yang merusak ekosistem, seperti pembakaran hutan, penangkapan ikan berlebihan, atau perdagangan satwa liar ilegal.

Dengan meningkatkan kualitas lingkungan akan menciptakan masa depan yang lebih baik bagi generasi mendatang. Udara bersih dan air segar akan mendukung kesehatan manusia, sumber daya alam yang lestari akan memenuhi kebutuhan manusia, dan ekosistem yang seimbang akan memberikan kehidupan yang beragam dan indah.

### **10.2.1 Kualitas lingkungan bersih**

Lingkungan yang bersih dan sehat merupakan aset berharga bagi kelangsungan hidup manusia dan generasi mendatang. Kualitas lingkungan yang baik tidak hanya memberikan manfaat langsung bagi kesehatan dan kesejahteraan manusia, tetapi juga penting untuk keberlanjutan ekosistem dan kehidupan seluruh spesies di planet ini. Pentingnya menjaga kualitas lingkungan yang bersih serta langkah-langkah yang dapat diambil untuk mencapai tujuan tersebut. Lingkungan yang bersih memiliki dampak positif yang signifikan bagi kesehatan manusia. Udara bersih mengurangi risiko penyakit pernapasan dan

kardiovaskular, sedangkan air bersih yang aman untuk diminum menjaga kesehatan organ tubuh manusia. Selain itu, tanah yang bersih dan subur memberikan dukungan bagi pertanian yang berkelanjutan dan produksi pangan yang sehat.

### Lingkungan Sehat vs Tak Sehat

#### Lingkungan Sehat

- a. Udara bersih dan segar.
- b. Tanah yang subur.
- c. Sumber air yang bersih.
- d. Air sungai yang mengalir terlihat bersih dan jernih.
- e. Sampah tidak berserakan.
- f. Banyak tumbuhan hijau yang tumbuh dengan subur.

#### Lingkungan tak Sehat

- a. Udara kotor karena banyak debu dan asap.
- b. Sampah banyak berterbaran.
- c. Sumber air tidak bersih.
- d. Saluran air tidak lancar sehingga air menggenang.
- e. Tumbuhan tidak bisa tumbuh dengan subur sehingga lingkungan menjadi gersang.



**Gambar 10.3.** Perbandingan ingkungan sehat dan tidak sehat  
(Sumber: Wihardjo, 2021).

Berikut adalah beberapa tindakan yang dapat diambil untuk membangun lingkungan yang bersih:

1. Mengurangi Pencemaran Udara
  - a. Menggunakan transportasi ramah lingkungan seperti kendaraan listrik atau berbagi kendaraan.
  - b. Mengurangi emisi kendaraan dengan memeriksa dan memelihara kendaraan secara teratur.
  - c. Mendorong penggunaan energi terbarukan dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil.

2. Mengelola Limbah dengan Bijaksana
  - a. Mendaur ulang sebanyak mungkin. Memisahkan dan mendaur ulang limbah kertas, plastik, logam, dan kaca.
  - b. Mengurangi penggunaan plastik sekali pakai dengan menggunakan alternatif ramah lingkungan.
  - c. Mengelola limbah organik dengan kompos atau sistem daur ulang yang tepat.
3. Konservasi Sumber Daya Air
  - a. Menggunakan air dengan hemat. Memperbaiki keran yang bocor dan menggunakan peralatan yang efisien dalam penggunaan air.
  - b. Mengumpulkan dan menggunakan air hujan untuk keperluan non-potable, seperti menyiram tanaman.
  - c. Menghindari pemborosan air, misalnya dengan mematikan keran saat tidak digunakan.
4. Mengembangkan Energi Terbarukan
  - a. Mendorong penggunaan energi terbarukan seperti tenaga surya dan tenaga angin.
  - b. Mengurangi konsumsi energi dengan mematikan peralatan yang tidak digunakan dan menggunakan peralatan hemat energi.
  - c. Mengadopsi teknologi energi terbarukan di tingkat individu dan komunitas.
5. Menghargai Lingkungan Alam
  - a. Melestarikan ekosistem dan konservasi habitat alami.
  - b. Menghindari penangkapan ikan berlebihan dan praktik perburuan yang merusak.
  - c. Mendorong kebijakan dan praktik yang bertanggung jawab terhadap lingkungan alam.

Dampak positif dari lingkungan bersih adalah membangun lingkungan yang bersih akan memberikan manfaat yang berkelanjutan bagi manusia dan generasi mendatang. Udara bersih

akan meningkatkan kualitas hidup manusia dan mengurangi risiko penyakit (Rizal, 2017). Air bersih akan memberikan akses yang aman dan sehat untuk kebutuhan sehari-hari. Selain itu, lingkungan yang bersih juga berkontribusi pada keindahan alam dan kelestarian satwa liar.

### **10.2.2 Kualitas lingkungan tercemar**

Kualitas lingkungan yang baik adalah faktor penting dalam menjaga kesehatan dan kesejahteraan manusia serta keberlanjutan bumi ini. Namun, terdapat tantangan serius lingkungan saat ini dalam bentuk pencemaran. Pencemaran lingkungan dapat merusak ekosistem, berdampak negatif pada kesehatan manusia, dan mengancam keberlanjutan hidup manusia.



**Gambar 10.4.** Pencemaran lingkungan  
(Sumber: Adrian, 2021)

Dampak buruk kualitas lingkungan yang tercemar dan pentingnya menghadapi tantangan pencemaran. Pencemaran lingkungan dan dampaknya terbagi atas:

1. Pencemaran Udara

Pencemaran udara yang disebabkan oleh emisi kendaraan bermotor, industri, dan pembakaran bahan bakar fosil dapat menyebabkan masalah pernapasan, penyakit paru-paru, dan bahkan kematian. Partikel-partikel berbahaya seperti debu, asap, dan bahan kimia dapat masuk ke saluran pernapasan manusia dan mempengaruhi kualitas udara yang dihirup.

2. Pencemaran Air

Air yang tercemar dengan limbah industri, pertanian, dan domestik dapat mengancam kehidupan air dan kesehatan manusia. Pencemaran air dapat menyebabkan keracunan, penyakit kulit, dan kerusakan ekosistem perairan. Air yang tercemar juga mengurangi ketersediaan air bersih untuk kebutuhan sehari-hari.

3. Pencemaran Tanah

Pencemaran tanah terjadi ketika bahan kimia berbahaya menyerap ke dalam tanah dan mengganggu kesuburan serta kehidupan mikroorganisme. Limbah industri, limbah pertanian, dan penggunaan pestisida yang berlebihan adalah beberapa faktor penyebab pencemaran tanah. Pencemaran tanah dapat menghambat pertanian, merusak ekosistem, dan mengancam keberlanjutan produksi pangan.

4. Pencemaran Suara

Pencemaran suara yang disebabkan oleh kebisingan lalu lintas, industri, dan konstruksi dapat menyebabkan stres, gangguan tidur, masalah pendengaran, dan penurunan kualitas hidup. Pencemaran suara juga dapat mengganggu

kehidupan satwa liar dan mengacaukan interaksi komunikasi makhluk hidup.

Berbagai macam cara untuk menghadapi tantangan pencemaran diantaranya :

a. Kesadaran dan Pendidikan

Meningkatkan kesadaran akan dampak buruk pencemaran lingkungan dan mengedukasi masyarakat tentang praktik yang ramah lingkungan dapat menjadi langkah awal yang penting dalam menghadapi tantangan ini. Regulasi dan kebijakan lingkungan diperlukan regulasi dan kebijakan yang ketat untuk mengendalikan emisi industri, penggunaan pestisida, dan pembuangan limbah. Pemerintah dan lembaga terkait harus bekerja sama untuk mengatur dan menegakkan standar perlindungan lingkungan yang lebih baik.

b. Teknologi Bersih

Mengembangkan dan mengadopsi teknologi bersih yang ramah lingkungan dapat membantu mengurangi dampak pencemaran. Ini termasuk penggunaan energi terbarukan, pengolahan limbah yang efisien, dan teknologi yang mengurangi emisi dan limbah berbahaya.

c. Pemulihan Ekosistem

Melakukan upaya pemulihan ekosistem yang rusak akibat pencemaran dapat membantu memulihkan keanekaragaman hayati dan fungsi ekosistem yang seimbang.

d. Partisipasi Masyarakat

Partisipasi aktif masyarakat dalam melindungi dan memulihkan lingkungan sangat penting. Ini termasuk mengadopsi praktik yang ramah lingkungan, mendukung kegiatan lingkungan lokal, dan mengajak orang lain untuk bergabung dalam upaya perlindungan lingkungan.

## 10.3 Fasilitas Publik

Fasilitas publik merupakan elemen penting dalam kehidupan perkotaan yang berkontribusi pada kesejahteraan masyarakat. Namun, sering kali manusia mengabaikan hubungan antara fasilitas publik dan kualitas lingkungan di sekitarnya. Kualitas lingkungan yang baik sangat penting untuk kesehatan dan kesejahteraan sekitar (Joda dan Antar, 2013). Peran fasilitas publik dalam meningkatkan kualitas lingkungan serta dampaknya terhadap kehidupan sehari-hari.

### 1. Taman dan Ruang Terbuka Hijau

Fasilitas publik seperti taman, taman kota, dan ruang terbuka hijau lainnya memiliki peran vital dalam meningkatkan kualitas lingkungan. Mereka memberikan oksigen segar, menyerap polusi udara, mengurangi suhu permukaan, dan menciptakan habitat bagi keanekaragaman hayati. Selain itu, taman juga menjadi tempat rekreasi dan relaksasi bagi masyarakat, yang berdampak positif pada kesehatan fisik dan mental.

### 2. Taman Air dan Penanggulangan Banjir

Fasilitas publik seperti taman air, kolam retensi, dan sistem drainase yang baik dapat membantu mengelola air hujan dan mengurangi risiko banjir. Dengan memanfaatkan sistem alami seperti tanaman air dan penyerapan air melalui tanah, fasilitas ini membantu menjaga kualitas air dan mengurangi beban pada saluran air yang ada.

### 3. Transportasi Ramah Lingkungan

Infrastruktur transportasi publik yang efisien dan ramah lingkungan, seperti sistem kereta api, bus, dan jalur sepeda, berperan penting dalam mengurangi polusi udara dan kemacetan. Dengan mendorong penggunaan transportasi publik yang lebih berkelanjutan, fasilitas ini membantu meningkatkan kualitas udara dan mengurangi emisi gas rumah kaca.

#### 4. Pengelolaan Limbah yang Efektif

Fasilitas publik termasuk sistem pengelolaan limbah seperti tempat pembuangan sampah, tempat pengolahan limbah, dan daur ulang yang efektif sangat penting untuk menjaga kualitas lingkungan. Dengan pengelolaan limbah yang baik dapat mengurangi pencemaran tanah dan air serta meminimalkan dampak negatif pada ekosistem.

#### 5. Bangunan Hijau

Fasilitas publik seperti gedung perkantoran, sekolah, atau rumah sakit yang dirancang dengan prinsip bangunan hijau berkontribusi pada kualitas lingkungan. Bangunan dengan desain efisien energi, penggunaan material ramah lingkungan, dan penggunaan energi terbarukan membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dan penggunaan sumber daya alam yang berlebihan (Widyaputra, 2020).

### **10.3.1 Kebersihan standar fasilitas publik**

Fasilitas publik adalah sarana penting yang digunakan oleh masyarakat untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari dan meningkatkan kualitas hidup. Namun, agar dapat memberikan manfaat yang optimal, penting untuk menjaga kebersihan standar fasilitas publik. Kebersihan yang baik adalah aspek yang tidak dapat diabaikan dalam menciptakan lingkungan yang sehat, aman, dan nyaman bagi pengguna fasilitas publik. Pentingnya kebersihan standar fasilitas publik serta tindakan yang dapat diambil untuk memastikan fasilitas publik tetap bersih dan terjaga.

#### 1. Kualitas Udara yang Bersih

Fasilitas publik, seperti stasiun kereta, terminal bus, atau bandara, sering kali padat dengan orang-orang. Oleh karena itu, penting untuk menjaga kualitas udara di dalam fasilitas ini. Langkah-langkah yang perlu diambil meliputi pemeliharaan sistem ventilasi yang baik, penggunaan teknologi pemurnian udara, dan larangan merokok di area

fasilitas publik. Hal ini akan membantu mengurangi risiko terpapar polusi udara dan penyakit pernapasan.

2. Kebersihan Toilet dan Kamar Mandi

Toilet dan kamar mandi adalah fasilitas publik yang paling sering digunakan oleh masyarakat. Penting untuk memastikan bahwa toilet dan kamar mandi selalu bersih dan terjaga kebersihannya. Langkah-langkah sederhana seperti rutin membersihkan dan menyediakan perlengkapan pembersih di area tersebut, serta menjaga pasokan air yang memadai, dapat meningkatkan kebersihan dan kenyamanan pengguna.

3. Pengelolaan Sampah yang Efektif

Fasilitas publik harus dilengkapi dengan tempat sampah yang memadai dan jelas penempatannya. Pengelolaan sampah yang efektif melibatkan pengosongan dan pembersihan secara teratur, pemisahan limbah sesuai dengan jenisnya, dan pendidikan kepada pengguna fasilitas publik mengenai pentingnya membuang sampah pada tempatnya. Hal ini akan membantu mencegah penumpukan sampah dan penyebaran penyakit.

4. Area Publik yang Bersih dan Rapi

Mempertahankan kebersihan area publik, seperti trotoar, taman, dan area rekreasi, merupakan langkah penting dalam menciptakan lingkungan yang menarik dan aman bagi masyarakat. Rutin membersihkan sampah, memangkas tanaman yang tidak terawat, dan menjaga kebersihan area secara keseluruhan adalah tindakan yang perlu dilakukan. Selain itu, penting juga untuk memberikan akses yang memadai bagi masyarakat untuk mencuci tangan dan menyediakan fasilitas sanitasi tambahan di area publik.

5. Peran Masyarakat dalam Menjaga Kebersihan

Kebersihan standar fasilitas publik tidak hanya menjadi tanggung jawab pemerintah atau penyedia fasilitas, tetapi juga

tanggung jawab masyarakat. Mengedukasi dan mendorong kesadaran masyarakat tentang pentingnya menjaga kebersihan fasilitas publik, serta melibatkan mereka dalam kegiatan kebersihan, akan menciptakan lingkungan yang lebih baik dan berkelanjutan (Rahman and Patilaiya, 2018).

## DAFTAR PUSTAKA

- Adrian. 2021. *Pedoman Sanitas Lingkungan*. Yogyakarta: Diva Press.
- Ikhtiar, Muhammad. 2017. *Pengantar Kesehatan Lingkungan*. Makassar: CV. Social Politic Genius (SIGn).
- Ikhtiar, Muhammad. 2017. *Analisis Kualitas Lingkungan*. Makassar: CV. Social Politic Genius (SIGn)
- Itchon GS, Gensch R. Water. 2013. *Sanitation, Health. Sustainable Sanitation Water Managemet*. Ohio: Xavier University Press.
- Joga, Birwono dan Antar, Yori. 2013. *Bahasa Pohon Selamatkan Bumi*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Rahman, H. and Patilaiya, H. L. 2018. 'Pemberdayaan Masyarakat Melalui Penyuluhan Perilaku Hidup Bersih dan Sehat untuk Meningkatkan Kualitas Kesehatan Masyarakat', *JPPM (Jurnal Pengabdian dan Pemberdayaan Masyarakat)*, 2(2), p. 251. doi: 10.30595/jppm.v2i2.2512.
- Rizal, Reda. 2017. *Analisis Kualitas Lingkungan*. Jakarta: Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.
- Widyaputra, Primanda K. 2020. *Penerapan Infrastruktur Hijau Di Berbagai Negara: Mendukung Pembangunan Berkelanjutan Berbasis Lingkungan*. Bandung: Widina Bhakti Persada Bandung.
- Wihardjo, Sihadi. 2021. *Pendidikan Lingkungan Hidup*. Jawa Tengah: PT. Nasya Expanding Management.



# **BAB 11**

## **KUALITAS LINGKUNGAN TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR (TPA) SAMPAH**

*Oleh Suriani Nur*

### **11.1 Pendahuluan**

Pertambahan jumlah penduduk, perkembangan teknologi yang cepat dan perubahan gaya hidup manusia, menjadikan volume sampah semakin terus meningkat setiap tahun. Selain volume sampah yang terus meningkat, variasi dan jenis sampah semakin beragam. Namun tidak dibarengi dengan peningkatan wawasan dan kesadaran lingkungan pada individu. Sehingga yang terjadi adalah penumpukan sampah bukan pada tempatnya, lingkungan hidup terganggu dan merusak bumi yang cuma satu. Sunarsih ( 2017) mengatakan bahwa keseimbangan lingkungan secara alami dapat berlangsung karena komponen yang ada berinteraksi sesuai peran dan fungsinya. Lingkungan dengan keragaman interaksinya secara alami dapat menjaga keseimbangan lingkungan.

Sampah yang umum selama ini berakhir di tempat yang tidak tepat dengan membuang sembarangan seperti membuang ke sungai, membuang ke pinggir jalan, dan lain-lain. Ada juga sampah yang sampai ke pemrosesan akhir sampah, namun sampah hanya ditumpuk saja tidak ada proses. Pengelolaan TPA dengan terbuka paling banyak dilakukan pada beberapa tempat. Tempat pemrosesan akhir sampah yang umum di Indonesia dilakukan secara *open dumping*, sistem ini menyisakan masalah tersendiri. Karena seringkali lindi yang dihasilkan mencemari air tanah sekitar

lokasi pembuangan sampah. Bukan menyelesaikan permasalahan sampah, namun hanya memindahkan permasalahan sampah dari satu tempat ke tempat lainnya.

Berdasarkan data Status Lingkungan Hidup Indonesia (SLHI) tahun 2007 terkait keadaan TPA di Indonesia, secara umum merupakan tempat buangan sampah terbuka (*open dumping*). Penggunaan TPA secara *open dumping* sebenarnya sudah dilarang sejak 2013. Namun faktanya, ada juga yang masih tetap melakukan secara terbuka karena jenis ini murah biaya dalam pelaksanaannya. Melansir dari laman Biroinfrasda (2018) menyatakan bahwa 90% TPA menggunakan sistem *open dumping* dan hanya 9% menggunakan *controlled landfill* dan *sanitary landfill*. (<http://biroinfrasda.jatengprov.go.id/>)

Pembuangan sampah di negara maju sudah menggunakan teknologi modern. Jerman sebagai salah satu contoh dengan tingkat daur ulang sampah terbaik. Pengolahan sampah di Jerman sangat detail dengan memulai pengolahan dari tingkat awal pada rumah-rumah penduduk sampah sudah dipilah sesuai kelompok masing-masing.

Melansir dari laman *Waste4Change* terkait Metode Pengolahan Limbah di 3 Negara Maju terlihat sangat berbeda dengan negara kita Indonesia. Peran seluruh komponen masyarakat sangat diperlukan untuk mencapai sistem pengolahan sampah ramah lingkungan. Sebagaimana yang dilakukan negara berikut: Jerman, Swedia, dan Jepang

Jerman memanfaatkan sampahnya secara optimal melalui peningkatan kesadaran tentang sampah sebagai sumber daya dan bahan baku dalam pemanfaatan energi. Untuk mewujudkan tujuan mulia itu, pemerintah Jerman lewat kementerian lingkungannya membuat Undang-Undang Manajemen Siklus Tertutup. Kebijakan ini, oleh pemerintah memberikan tanggung jawab pengolahan sampah kepada produsen dan distributor suatu produk terhadap sampah yang dihasilkan. Hal ini dapat meningkatkan kesadaran

dalam memilah sampah, dan kapasitas untuk daur ulang menjadi meningkat. Jerman telah mampu menerapkan skema daur ulang yang dapat mengurangi sampah 1 juta ton/tahun. Jerman cukup kuat dalam kebijakan dan regulasi pengolahan sampah serta disiplin. Hal membawa Jerman menjadi negara dengan pengelolaan sampah terbaik.

Negara Swedia juga terkenal sistem pengelolaan sampahnya yang baik. Melansir dari laman DLH Kota Semarang, bahwa ada 3 kunci keberhasilan Swedia dalam mengelola sampah yaitu: 1) Kesadaran masyarakat yang tinggi. Suatu hasil Survei (2008) menunjukkan bahwa 87% orang Swedia mengambil langkah individu untuk mengurangi emisi karbon mereka; 2) Kebijakan yang ketat. Swedia memberikan pajak besar bagi industri yang memanfaatkan bahan bakar fosil semenjak tahun 1991 ; ; 3) Mendapatkan sumber energi murah dari sampah. Swedia mendatangkan sampah dari luar negaranya, untuk bahan baku sumber energi. Sampah di Swedia dikelola dengan baik. (<http://dlh.semarangkota.go.id>). Selain swedia ada negara Jepang, salah satu negara di Asia yang menerapkan pengolahan sampah berwawasan lingkungan. Pengolahan sampah di Jepang ditekankan dalam pemilahan sampah sejak di awal dan menggunakan teknologi daur ulang. Pemerintah Jepang memberlakukan kebijakan ketat mencegah masyarakat membawa dan membuang sampah diluar rumah mereka. Warga harus melakukan daur ulang.

Indonesia sebagai negara berkembang sudah mulai juga untuk menuju pengelolaan sampah yang ramah lingkungan. Tempat Pemrosesan akhir (TPA) sampah kebanyakan menggunakan *open dumping* dan metode *landfill*. Meskipun masih ada juga menggunakan metode lainnya. Indonesia diharapkan dapat mengikuti sistem pengelolaan sampah yang baik dari beberapa negara. Berdasarkan capaian kinerja pengelolaan sampah dari SIPSN diperoleh data sebagaimana Gambar 15.1. Capaian kinerja pengelolaan sampah merupakan capaian dalam

pengurangan dan penanganan sampah rumah tangga serta sampah sejenis sampah rumah tangga. Data dari SIPSN adalah hasil penginputan data dari 181 kabupaten/kota se-Indonesia pada tahun 2022 diperoleh data timbulan sampah 15.137.427.00 ton/tahun, dengan pengurangan sampah baru 17.66 % (2.672.533.76 ton/tahun). Sampah yang terkelola 60.09% (9.096.211.09 ton/tahun ) dan masih ada yang sampah tidak terkelola 39.91 % (6.041.215.91 ton/tahun). Capaian kinerja pengelolaan sampah meliputi: capaian pengurangan dan penanganan sampah rumah tangga dan sampah sejenis sampah rumah tangga. Saat ini ada 514 kabupaten/kota yang terdiri dari 416 kabupaten dan 98 kota yang tersebar pada 34 provinsi di Indonesia. Data ini menunjukkan bahwa belum seluruh kabupaten dan kota yang melakukan penginputan data terkait dengan capaian kinerja pengelolaan sampah.



**Gambar 11.1.** Capaian Kinerja Pengelolaan Sampah  
Sumber: SIPSN (akses 4/6/2023)

Sampah yang terus meningkat, terkadang tidak dibarengi dengan peningkatan luasan tempat pembuangan akhir sampah dan peningkatan teknologi pengelolaan sampah yang ramah lingkungan. Sehingga banyak menimbulkan persoalan diberbagai tempat. Sucipto (2012), menunjukkan bahwa jumlah sampah yang dihasilkan di suatu wilayah sebanding dengan jumlah penduduk, jenis kegiatan dan konsumsi barang/material penduduk tersebut. Semakin tinggi jumlah penduduk atau tingkat konsumsi suatu barang, maka semakin besar jumlah sampah yang dihasilkan. Setiap hari, kota-kota seperti Jakarta, Surabaya, Bandung, Semarang, dan beberapa kota besar lainnya di Indonesia menghasilkan banyak sampah. Hal ini disebabkan oleh jumlah penduduk yang besar.

Indonesia telah menerapkan konsep pembangunan berkelanjutan. Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN 2015-2019) telah membahas tentang implementasi pembangunan berkelanjutan dengan salah satu kebijakan terkait pemanfaatan dan pengelolaan sumber daya alam dan lingkungan hidup. Lingkungan menjadi hal yang ditekankan dalam konsep pembangunan berkelanjutan di Indonesia. Pemerintah, swasta, dan masyarakat social penting secara bersama, bahu membahu dalam mewujudkan tujuan pembangunan tersebut, dan saat ini konsep pembangunan berkelanjutan digunakan dalam RPJMN 2020-2024. (<https://www.bps.go.id>).

Pengelolaan sampah di tempat pemrosesan akhir (TPA) yang kurang benar dapat menjadi sumber penyakit. Ada banyak penyakit yang disebabkan oleh sampah baik secara langsung maupun tidak langsung. Selain itu, dampak pengelolaan sampah yang buruk menyebabkan pencemaran air, tanah, dan udara. Oleh karena itu TPA penting mendapat perhatian khusus, demi menjaga kesehatan lingkungan dalam mewujudkan kesehatan masyarakat yang lebih baik.

## **11.2 Sampah**

### **1. Pengertian Sampah**

WHO memberikan pengertian tentang sampah adalah sesuatu yang tidak digunakan, tidak disenangi atau sesuatu yang dibuang yang berasal dari kegiatan manusia dan tidak terjadi dengan sendirinya. Pengertian sampah menurut *American public health Association*, sampah (*waste*) adalah sesuatu yang tidak terpakai, tidak digunakan, tidak disenangi atau sesuatu yang dibuang, berasal dari kegiatan manusia dan tidak terjadi dengan sendirinya. Sampah merupakan sisa hasil kegiatan manusia yang sudah tidak terpakai. Selama manusia melakukan aktifitas kehidupan di bumi ini maka selama itu pula sampah akan terus ada di muka bumi ini. Laju timbulan sampah akan terus meningkat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan peningkatan teknologi. Beberapa persepsi menganggap bahwa sampah suatu beban karena sudah tidak dapat digunakan lagi dan hanya menimbulkan permasalahan. Namun bagi sebagian orang beranggapan bahwa sampah merupakan rejeki, sampah merupakan cuan, sampah merupakan bahan baku untuk produk lain.

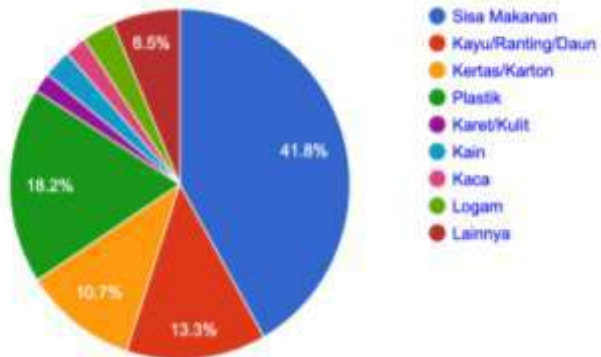
Sumber sampah di permukaan bumi ini dapat bersumber dari beberapa sumber antara lain dari: Rumah, Hotel, kantor, industri, pertanian, perkebunan, peternakan, pasar, dan sebagainya.

### **2. Jenis dan Komposisi Sampah**

Komposisi sampah adalah komponen sampah yang dipilih berdasarkan jenis dan karakteristiknya. Komposisi sampah pada suatu negara berbeda-beda. Faktor-faktor yang menentukan komposisi sampah tergantung pada aktifitas, gaya hidup, budaya, . Sebagai negara berkembang, Indonesia memiliki komposisi sampah yang berbeda dari negara lainnya. Komposisi sampah di Indonesia didominasi dari sampah organik

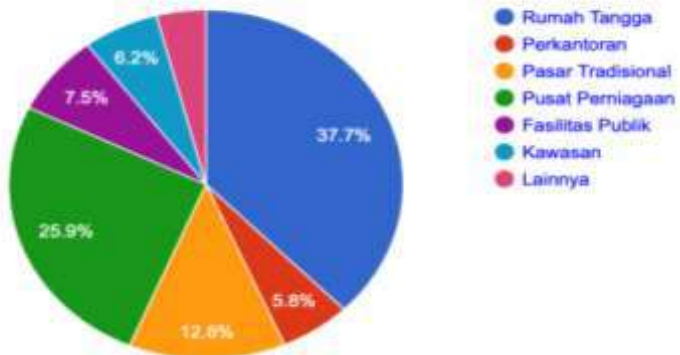
(sisa makanan, kayu ranting daun). Dilansir dari laman SIPSN terlihat bahwa komposisi sampah Indonesia dominasi sampah organik selebihnya adalah sampah anorganik. Secara umum komposisi sampah di Indonesia yaitu: sisa makanan, ranting, daun, kertas, karton, plastik, karet, kulit, kain, kaca, logam dan lainnya

**Komposisi Sampah Berdasarkan Jenis Sampah**



**Gambar 11.2.** Komposisi Sampah Berdasarkan Jenis  
Sumber: SIPSN (akses tgl 4/6/23)

**Komposisi Sampah Berdasarkan Sumber Sampah**



**Gambar 11.3.** Komposisi sampah berdasarkan Sumber  
Sumber: SIPSN

Berdasarkan ‘mudah hancur’ sampah ada dua kelompok yaitu sampah yang mudah hancur dan sampah yang tidak mudah hancur. Menurut Sucipto (2012) sampah terbagi tiga, yaitu sampah organik, sampah anorganik, dan sampah B3.

1. **Sampah organik** Itu tidak hanya berasal dari manusia tetapi juga dari makhluk hidup seperti hewan dan tumbuhan. Sampah jenis ini biasanya mudah terurai. Contoh limbah jenis ini antara lain sayuran, ranting, kayu, dedaunan, rumput, dan bangkai hewan.



**Gambar 11.4.** Sampah organik

Sumber : The asianparent.

2. **Sampah anorganik** Itu bukan dari makhluk hidup. Sampah jenis ini biasanya sulit terurai. Jenis sampah ini biasanya merupakan jenis yang dapat digunakan kembali (recycle), seperti bahan plastik atau logam.



**Gambar 11.5.** Sampah AnOrganik

Sumber : <https://cleanipedia.com>.

3. **Sampah B3** (Bahan Berbahaya dan Beracun). Sampah B3 merupakan jenis sampah dikategorikan beracun dan berbahaya bagi manusia. Sampah jenis ini perlu penanganan yang sedikit berbeda dengan jenis sampah lain.



**Gambar 11.6.** Limbah B3 di rumah

Sumber: Suriani Nur dkk, 2022

Memahami jenis-jenis sampah akan memudahkan untuk mengelola dan membuangnya sesuai jenis sampah. Misalnya, sampah organik adalah sampah yang mudah rusak. Limbah ini di buat kompos dan dapat digunakan sebagai pupuk untuk tanaman. Jika memiliki sampah plastik, dapat menyimpannya, menyumbangkannya, atau memulai ekonomi kreatif sampah plastik. Apabila menemukan limbah jenis B3, maka limbah ini tidak dibuang sembarangan dan harus dipisahkan dari limbah lain dalam wadah khusus. Karena jenis sampah B3 berbahaya.

### **11.3 Kualitas lingkungan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah**

#### **1. Tempat Pembuangan Akhir Sampah**

Menurut UU No. 18 tahun 2008 menyatakan bahwa TPA adalah Tempat pemrosesan akhir yang bermakna sebagai tempat untuk melakukan proses dan mengembalikan sampah ke lingkungan secara aman untuk manusia dan lingkungan. Seringkali orang menyebutkan bahwa TPA merupakan singkatan dari tempat pembuangan akhir. Padahal regulasinya sudah jelas menyebutkan bahwa TPA merupakan tempat pemrosesan akhir. Akhir dari perjalanan sampah (khususnya perkotaan) adalah TPA, yang dimulai dari penghasil sampah (rumah, kantor, sekolah, mall, pasar, rumah sakit, dll), hingga tiba pada pemrosesan akhir.

Kota memiliki daya tarik yang kuat, membuat banyak orang mencari peruntungan di kota. Sehingga pertumbuhan penduduk akibat urbanisasi tidak terelakkan lagi. Permasalahan penduduk di perkotaan berjalan seiring dengan permasalahan sampah kota. Sudrajat (2006) mengatakan bahwa permasalahan sampah kota tidak hanya terkait teknis, tetapi juga social, ekonomi, dan budaya.

Masalah utama sampah kota umumnya terjadi di TPA terutama di kota-kota besar. Masalah yang sering muncul

antara lain adalah terkait lahan TPA yang terbatas, produksi sampah yang semakin bertambah timbulannya setiap waktu. Pengelolaan TPA yang masih menggunakan sistem tradisional dengan hanya menumpuk sampah diatas tanah. Sehingga persoalan kualitas lingkungan hidup sekitar TPA menjadi tercemar.



**Gambar 11.7.** Tempat Pembuangan Akhir Sampah  
Sumber: <https://mediacenter.temanggungkab.go.id>

Sampah sudah menjadi persoalan, mendapat perhatian khusus dan sudah begitu banyak regulasi yang mengaturnya. Salah satu regulasi yang mengatur tentang sampah adalah Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 Tentang Pengelolaan Sampah kemudian turun menjadi Peraturan Pemerintah. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 81 Tahun 2012 Tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga. Dan masih banyak lagi regulasi mengatur tentang sampah.

## **2. Model Pengelolaan sampah di TPA**

Pengelolaan sampah yang benar mensyaratkan adanya keterpaduan dari berbagai aspek, mulai dari hulu sampai ke hilir. Aspek hulu meliputi kegiatan pola sampai pada tingkat penghasil sampah tahap pertama, diantaranya rumah tangga, hotel maupun rumah makan.

Tahapan dalam pengolahan sampah padat yang baik, antara lain adalah: tahap pengumpulan, penyimpanan, pengangkutan dan tahap pemusnahan. Sumantri (2010), menuliskan beberapa faktor yang dapat mempengaruhi jumlah sampah yaitu:

- a. Jumlah penduduk
- b. Sistem pengumpulan atau pembuangan sampah yang dipakai
- c. Pengambilan bahan-bahan yang ada pada sampel untuk dipakai kembali
- d. Faktor waktu
- e. Faktor geografis
- f. Faktor social ekonomi dan budaya
- g. Faktor Musim
- h. Kebiasaan masyarakat
- i. Kemajuan teknologi
- j. Jenis sampah

Pengelolaan TPA sangat bervariasi di setiap kabupaten dan kota di Indonesia, tergantung dari kebijakan pemerintah setempat. Beberapa contoh dari metode pengelolaan TPA yang selama ini digunakan yaitu:

### **a) Open dumping**

Model pengelolaan sampah open dumping merupakan yang paling banyak digunakan karena sederhana dan tidak terlalu membutuhkan biaya tinggi.

Melalui pemanfaatan cekungan, lembah tanpa ada perlakuan apa-apa dan tanpa ditutup dengan tanah.

Sistem *Open dumping* berbahaya bagi lingkungan karena dapat mengakibatkan air dan tanah tercemar oleh lindi, berbagai zat kimia dari sampah (metana, karbon dioksida, dan lain-lain). Selain itu, sistem open dumping menjadi tempat bersarang berbagai hewan berbahaya penyebab penyakit seperti nyamuk, lalat, tikus dan lain-lain). Open dumping juga penyebab udara di sekitar TPA pasti mengalami pencemaran seperti bau tidak sedap. Sejak 2013, penggunaan sistem TPA terbuka telah dilarang.

Hal ini diatur dalam Pasal 18, Pasal 44 dan 45 UU 2008 yang mengatur bahwa TPA harus membentuk sistem sanitary landfill dan controlled landfill. Selain itu, metode open dumping dapat membahayakan kualitas udara, berdampak pada kesehatan, dan berkontribusi terhadap perubahan iklim melalui gas metana yang dihasilkan. Namun, sistem tersebut tetap diperlukan karena dapat mereduksi sampah di sumbernya, mengolah lebih lanjut sampah penghasil residu, dan mengolah sampah yang sulit terurai atau terurai secara kimiawi. Isolasi diperlukan untuk menghindari masalah limbah yang disebabkan oleh metode ini.



**Gambar 11.8.** Metode Open Dumping  
Source: [republika.co.id](http://republika.co.id)

b) Sanitary Land fill

***Sanitary Landfill:*** sistem pengelolaan sampah melalui cara menumpuk sampah di lokasi tanah yang berbentuk cekung, kemudian dipadatkan, dan ditimbun dengan tanah. Penutupan ini dilakukan agar mengurangi bau yang ditimbulkan sampah dan mempercepat pembusukan, sehingga dapat dimanfaatkan untuk ruang terbuka hijau lebih cepat. Untuk menggunakan metode ini, harus memenuhi beberapa syarat, yaitu: tersedianya lahan atau tempat yang luas, tanah untuk menimbun, dan alat-alat besar.



**Gambar 11.9.** Sanitary Land Fill

Sumber: Budi Setiyawan/Jawa Pos Radar Semarang

c) ***Controlled Landfill***

***Controlled Landfill:*** sistem pengelolaan sampah melalui cara memadatkan dan meratakan sampah menggunakan alat berat, kemudian dilapisi dengan tanah setiap lima hari sampai seminggu sekali. Cara ini dilakukan untuk meningkatkan pemanfaatan lahan, kestabilan permukaan TPA, mengurangi bau dan timbulnya gas metana, serta mencegah tempat pembuangan sampah menjadi perkembangbiakkan hewan lalat. Dalam menggunakan metode ini, diperlukan ketersediaan beberapa fasilitas, seperti: alat berat, pengendali gas metana, saluran drainase, saluran pengumpul air lindi dan instansi pengolahannya, juga pos pengendalian operasional.

### 3. Sampah dan Kualitas Lingkungan.

Revolusi industri 4.0 sedang kita jalani saat ini pertama kali digaungkan tahun 2011. *Key Word* revolusi industri 4.0 adalah *analysis big data*, teknologi robot, *artificial intelligence* (AI), *internet of things* (IoT). Banyak industri yang masih beradaptasi dengan revolusi industri 4.0, dalam masyarakat global mulai berkembang wacana memasuki revolusi industri 5.0. Hendra (..)

Revolusi Industri 5.0 diharapkan dapat memberikan banyak manfaat bagi industri, pelanggan, pekerja dan masyarakat pada umumnya, seperti meningkatkan produktivitas, kualitas, dan keamanan produksi, serta menciptakan peluang kerja baru dan mengurangi dampak lingkungan yang negatif.

Jambeck et al. (2015); Shinta (2019) mengatakan bahwa saat ini Indonesia menjadi sorotan dunia terkait ketahanan lingkungan. Predikat buruk yang disematkan pada Indonesia di kanca global akibat dikenal sebagai negara pembuang sampah terbesar kedua setelah Cina.

Buruknya predikat lingkungan suatu tempat akan berpengaruh pada kualitas lingkungan hidup dan kesehatan masyarakat. Pengelolaan TPA yang bagus akan memberikan banyak dampak positif. Namun sebaliknya pengelolaan TPA yang kurang tepat akan memicu berbagai penyakit. Berbagai penyakit yang dapat muncul dari pengelolaan tempat pemrosesan akhir (TPA) yang buruk.

Sampah yang hanya dibiarkan dalam bentuk terbuka akan mengundang munculnya berbagai penyakit, baik penyakit menular atau tidak menular. Penyakit menular muncul karena adanya mikroorganisme penyebab penyakit seperti: bakteri, virus, dan jamur. Jenis penyakitnya antara lain: leptospirosis, malaria, DBD dan sebagai.

Leptospirosis adalah penyakit yang disebabkan oleh bakteri *Leptospira*. Bakteri ini dapat menyebar melalui urin dan darah hewan yang terinfeksi. Hewan yang diyakini sebagai mediator penularan leptospirosis antara lain tikus, sapi, anjing, dan babi. Penyakit yang ditularkan melalui nyamuk, antara lain malaria dan demam berdarah. Malaria merupakan penyakit yang dapat mengancam jiwa yang disebabkan oleh parasit *Plasmodium* melalui gigitan nyamuk *Anopheles*. DBD disebabkan oleh virus dengue yang ditularkan lewat gigitan nyamuk *Aedes aegypti* atau *Aedes albopictus* berkelamin betina. Tumpukan sampah dan air yang menggenang dapat membuat seseorang berisiko alami DBD.

Beberapa penyakit tidak menular akibat sampah di TPA tidak dikelola dengan baik yaitu: keracunan, lindi yang menyebabkan pencemaran air dan tanah dan sebagainya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Sucipto, Cecep Dani. 2012. Teknologi Pengolahan Daur Ulang Sampah. Gosyen Publishing. Yogyakarta.
- Sudrajat. 2006. Mengelola Sampah Kota. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Shinta, Arundati. 2019. Memuliakan Sampah Konsep dan aplikasinya di dunia Pendidikan dan Masyarakat. Depublish. Yogyakarta.
- Sunarsih, Lilis Endang. 2017. Penanggulangan Limbah. Depublish. Yogyakarta
- Sumantri, Arif. 2010. Kesehatan Lingkungan. Edisi Keempat. Kencana. Jakarta.
- Surat Edaran No: S.E.1/MENKLH/PSLB3/PLB.0/1/2023  
<https://mediacenter.temanggungkab.go.id>  
<https://cleanipedia.com>  
<http://biroinfrasda.jatengprov.go.id/files/uploads/2018/03/Pemrosesan-Akhir-Sampah-2018-UNDIP.pdf>  
<https://www.bps.go.id>  
<http://Waste4Change>  
<https://cleanipedia.com>  
<http://www.djkn.kemenkeu.go.id>. Mengenal Revolusi Industri 5.0  
<https://radarsemarang.jawapos.com/berita/jateng/kendal/2021/03/28/terapkan-sistem-sanitary-landfill-sampah-tak-bau/>  
<http://dlh.semarangkota.go.id/3> Rahasia Pengolahan Sampah di Swedia – Dinas Lingkungan Hidup Kota Semarang

## **BIODATA PENULIS**



### **Handri Maika Saputra, S.ST**

Staf Jurusan Kesehatan Lingkungan, Politeknik Kesehatan  
Kemenkes Padang

Penulis dilahirkan di Padang, 05 Mei 1988. Penulis adalah staf pada Program Studi Kesehatan Lingkungan, Politeknik Kesehatan Kemenkes Padang. Menyelesaikan pendidikan D3 dan D4 pada Jurusan Kesehatan Lingkungan Politeknik Kesehatan Kemenkes Padang. Penulis menekuni bidang ilmu lingkungan dan kesehatan lingkungan. Penulis telah menghasilkan publikasi hubungan risiko lingkungan (hygiene perorangan dan sanitasi dasar rumah) dengan kejadian penyakit kecacingan di SDN 09 Air Pacah Kecamatan Koto Tangah Kota Padang dan faktor penyebab primer dan kombinasi dengan musculoskeletal disorders pada pekerja peternak ayam di nagari mungka. Penulis dapat dihubungi melalui email [handrimaika@gmail.com](mailto:handrimaika@gmail.com) atau nomor telepon 085279711997

## **BIODATA PENULIS**



**Mila Sari, S.ST, M.Si**

Dosen STIKES Dharma Landbouw Padang

Penulis dilahirkan di Pilubang, 13 Mei 1989. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kesehatan, Universitas Fort De Kock Bukittinggi. Menyelesaikan pendidikan D3 dan D4 pada Jurusan Kesehatan Lingkungan Politeknik Kesehatan Kemenkes Padang dan melanjutkan S2 pada Jurusan ilmu Lingkungan Universitas Negeri Padang. Penulis menekuni bidang ilmu lingkungan dan kesehatan lingkungan. Penulis dapat dihubungi melalui email : [milasari111326@gmail.com](mailto:milasari111326@gmail.com) atau nomor telepon 081374464054

## BIODATA PENULIS



### **Dr. Tarzan Purnomo, M.Si.**

Dosen Program Studi Biologi  
Fakultas MIPA Universitas Negeri Surabaya

Dr. Tarzan Purnomo, M.Si., lahir di Mojokerto, Jawa Timur tanggal 5 Mei 1965. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Surabaya sejak 1992. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Pendidikan Biologi FPMIPA IKIP Surabaya (1991), S2 Program Studi Biologi, Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada Yogyakarta (1998), dan Program Doktor (S3) Lingkungan Pesisir dan Lautan, Program Pascasarjana Universitas Brawijaya Malang (2011). Mengikuti *Postdoctoral Programe* Marine Ecology di Victoria University of Wellington, New Zealand (2013). Penulis menekuni bidang Ekologi, Ekologi Perairan, Ekologi Laut, Biologi Perairan, Ilmu Lingkungan, Konservasi Sumber Daya Alam, Manajemen Ekosistem Perairan, serta Ekologi Pesisir dan Kelautan.

## BIODATA PENULIS



### **Drs. Bambang Suhartawan, M.MT**

Dosen Jurusan Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Universitas Sains dan Teknologi Jayapura

Penulis lahir di Blitar tanggal 13 Pebruari 1964. Penulis adalah dosen tetap dengan status PNS-DPK pada Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP) Universitas Sains dan Teknologi Jayapura. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Kimia Jurusan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Cenderawasih Jayapura pada tahun 1989. Pendidikan Pasca Sarjana diperoleh dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya jurusan Manajemen Teknik Lingkungan pada tahun 2002. Penulis meniti karir berawal sebagai Guru SMA pada tahun 1990, tahun 2008 pindah ke Dinas Pendidikan Pemuda dan Olahraga Provinsi Papua sebagai Kepala Seksi Teknologi dan Informasi Pendidikan, tahun 2011 mendapat kepercayaan sebagai Kepala Dinas Pendidikan dan Pengajaran Kabupaten Keerom, tahun 2014 sebagai Staf Ahli Bupati Bidang Pembangunan di kabupaten yang sama, tahun 2017 sebagai sekretaris Dinas

Pemuda dan Olahgara Kabupaten Keerom, tahun 2018 kambali mendapat kepercayaan sebagai Kepala Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Kabupaten Keerom dan baru tahun 2021 mutasi sebagai Dosen PNS berstatus diperbantukan di Universitas Sains dan Teknologi Jayapura hingga saat ini.

## **BIODATA PENULIS**



**Isran Asnawi, S.Si., M.T.**

Dosen Program Studi Teknik Kimia Mineral  
Politeknik Industri Logam Morowali

Penulis lahir di Bulukumba, Sulawesi Selatan, tanggal 9 Januari 1991. Penulis merupakan dosen tetap di Program Studi Teknik Kimia Mineral, Politeknik Industri Logam Morowali. Penulis telah menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Kimia Universitas Hasanuddin dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Kimia Universitas Muslim Indonesia. Pada tahun 2018, penulis mulai berkarir sebagai dosen di Politeknik ATI yang kemudian menjadi dosen tetap di Politeknik Industri Logam Morowali hingga saat ini. Penulis menekuni beberapa rumpun bidang ilmu kimia, seperti kimia analisis, teknik kimia, kimia lingkungan, dan mikrobiologi. Penulis juga aktif sebagai ketua Satuan Penjamin Mutu Internal di perguruan tinggi saat ini.

## **BIODATA PENULIS**



**Ika Fitriani Juli Palupi, S.Si., M.Si.**

Dosen Program Studi Teknik Kimia Mineral  
Politeknik Industri Logam Morowali

Penulis lahir di Surabaya tanggal 18 Juli. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Kimia Mineral, Politeknik Industri Logam Morowali. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan melanjutkan S2 pada Jurusan Kimia, di Universitas Airlangga. Penulis pernah bekerja sebagai peneliti magang di Institut of Tropical Disease di Universitas Airlangga untuk mendalami tentang kinetika enzim. Sejak tahun 2017 penulis menjadi dosen tetap di Politeknik Industri Logam Morowali dan mulai belajar untuk menulis secara rutin, baik untuk bahan ajar kuliah, modul praktikum, maupun publikasi ilmiah.

## BIODATA PENULIS



### **Dr. Erma Suryani Sahabuddin, M.Si.**

Dosen pada Fakultas Ilmu Pendidikan, Jurusan Pendidikan Guru Sekolah Dasar (PGSD) Universitas Negeri Makassar (UNM)

Dr. Erma Suryani Sahabuddin, M.Si. Lahir di Bantaeng, Sulawesi Selatan. Tamat di SDN 1 Bantaeng, SMPN 3 Bantaeng, SMAN 1 Bantaeng, Strata Satu Fakultas Pendidikan MIPA Jurusan Pendidikan Kimia Institut Keguruan dan Ilmu Pendidikan Ujung Pandang, Strata Dua Kekhususan Ilmu Kimia Terapan pada Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin, Strata tiga Pendidikan Keendudukan dan Lingkungan Hidup. Pernah bertugas pada jurusan Pendidikan MIPA FKIP Universitas Nusa Cendana Kupang (1994-2011). Saat ini bertugas pada Fakultas Ilmu Pendidikan, Jurusan Pendidikan Guru Sekolah Dasar (PGSD) Universitas Negeri Makassar (UNM) Mata kuliah pokok Pendidikan Lingkungan Hidup dan Sains Terapan.

**Hasil Penelitian yang Telah Dipublikasi:** 1). *Car Pollution Measurement (A Study on 'Health' Environment)* (2015), 2. *The Use of Portofolio in the Implementation of Problem Based Learning Model to Improve Student Learning Outcomes* (2017), 3. *The Implementation of Environmental Education Based on Action-Portofolio to Improve the Learning Participation of the Student*

(2017), 4. Pengembangan Perangkat Pembelajaran Karakter Berbasis Kearifan Lokal (2019), 5. *The Analysis of Natural Intelligence Relates to Environmental Attitudes in Elementary School Students* (2019), 6. Pengaruh Penggunaan Media Audio Visual Film Kartun Terhadap Keterampilan Menyimak Mata Pelajaran Bahasa Indonesia Siswa Kelas V SD Inpres Mariso 1 Kota Makassar (2021), 7. *The Development of Character Strengthening Implementation Guidelines For Students* (2022), 8. Pengembangan Media PAKEM *The Box of Pinisi* Dalam 4 Pilar Budaya Bugis-Makassar (Sipakatau, Sipakainge', Sipakalebbi, dan Sipatokkong) Sebagai Pemberdayaan Karakter Siswa Sekolah Dasar (2022), 9. Pengaruh Penerapan Metode *Storytelling* Terhadap Keterampilan Berbicara Peserta Didik Kelas V SD Islam Athira 1 Makassar

**Kegiatan Pengabdian pada Masyarakat :** 1). Pendampingan guru dalam kegiatan sosialisasi dan pengembangan model-model pembelajaran inovatif berbasis multimedia dalam pembelajaran kimia (2017), 2). Semiloka dalam pemantapan kurikulum Matakuliah Pendidikan MIPA yang relavan dengan kebutuhan stake holder, 3). Evaluasi dan Instrumen Pembelajaran berdasarkan KTSP (2018).

**Buku yang Telah diTerbitkan:** 1. Integritas PKLH dalam Pembelajaran (2013), 2. Filosofi Cemaran Air (2015), 3. Materi Ajar Pendidikan Lingkungan Hidup (2018), 4. Penuntun Praktikum Kimia dan Biologi untuk Mahasiswa PGSD (2020), 5. Ayo Hidup Sehat dan Jaga Lingkungan Kata Dokter Kecil (2021). Ilmu Lingkungan (2022)

## **BIODATA PENULIS**



### **Jernita Sinaga, SKM.MPH**

Dosen Poltekkes Kemenkes Medan  
Jurusan Kesehatan Lingkungan

Jernita Sinaga, SKM.MPH, Lahir di Hutabayu Marubun, pada tanggal 08 Juni 1974. Tahun 2004 bergabung di Poltekkes Kemenkes Medan pada Jurusan Kesehatan Lingkungan dan Dosen Tetap pada tahun 2017 pada Politeknik Kesehatan Kementerian Medan Jurusan Kesehatan Lingkungan Menyelesaikan pendidikan Sarjana Muda (1997) di Akademik Kesehatan Lingkungan meraih gelar (AMKL) dan Sarjana Kesehatan Masyarakat (2011) dengan ilmu minat Jurusan Kesehatan Lingkungan pada Universitas Sumatera Utara dengan gelar (SKM). Gelar Master of Public Health (MPH) diperoleh dari Program Studi Ilmu Kesehatan Masyarakat pada Fakultas Kedokteran Universitas Gadjah Mada Yogyakarta pada tanggal 19 Juli 2017, dengan Ilmu Kesehatan Lingkungan. Disiplin ilmu yang disandang adalah Ilmu Kesehatan Lingkungan.

## **BIODATA PENULIS**



**Dr. dr. Elsa Yuniarti, S.Ked, M.Biomed, AIFO-K**

Dosen Program Studi Biologi  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Padang

Penulis lahir di Bandung tanggal 23 Juni 1982 . Penulis bertempat tinggal di Kelurahan Gunung Pangilun Kecamatan Padang Utara Kota Padang Provinsi Sumatera Barat. Telah menyelesaikan studi strata satu di Program Studi Kedokteran Universitas Andalas (2000 – 2006). Lulus strata dua di Program Studi Ilmu Biomedik Universitas Andalas (2011 – 2014). Lulus strata tiga di Program Studi Ilmu Lingkungan Universitas Negeri Padang (2019 – 2022).

Dan telah berkarir lama menjadi dosen di Universitas Negeri padang. Beliau sangat aktif dalam bidang akademik, penelitian, pengabdian masyarakat dan penulisan karya ilmiah, serta telah banyak berpartisipasi di berbagai kegiatan.

## **BIODATA PENULIS**



### **Dr. Suriani Nur, S.T., M.Si.**

Dosen tetap Prodi Pendidikan Guru Madrasah Ibtidaiyah (Prodi PGMI) Fakultas Tarbiyah. Institut Agama Islam Negeri Bone (IAIN Bone)

Dosen tetap Prodi Pendidikan Guru Madrasah Ibtidaiyah (Prodi PGMI) Fakultas Tarbiyah. Institut Agama Islam Negeri Bone (IAIN Bone). Menyelesaikan pendidikan S2 Program Studi Pengelolaan Lingkungan Hidup UNHAS Tahun 2003. Pendidikan S3 Program Studi Pendidikan Kependudukan dan Lingkungan Hidup (PKLH) UNM.) selesai Tahun 2017