

**BUKU AJAR**

**PENGELOLAAN**

**KUALITAS LINGKUNGAN**

**Badrus Zaman, ST, MT**  
**Ir. Syafrudin, CES, MT**



**LEMBAGA PENGEMBANGAN DAN PENJAMINAN MUTU PENDIDIKAN**  
**UNIVERSITAS DIPONEGORO**  
**SEMARANG**  
**2012**

## **BUKU AJAR**

### **Pengelolaan Kualitas Lingkungan**

Badrus Zaman, ST, MT

Ir. Syafrudin, CES, MT

Mata Kuliah	: Pengelolaan Kualitas Lingkungan
SKS	: 2
Semester	: 3
Program Studi	: Teknik Lingkungan
Fakultas	: Teknik



Diterbitkan oleh :  
UPT UNDIP Press Semarang  
Jl. Imam Barjo, SH No. 1 Semarang

ISBN : 978-979-097-040-3

Cetakan I : 2012

Dicetak oleh :  
CV. Lestari Mediakreatif  
Jl. Poncowolo Barat VI / 570 Semarang  
Telp. (024) 70100214  
e-mail : agsy.mediakreatif@gmail.com

Layout & desain cover : Agung Sunaryanto

---

#### **Hak cipta dilindungi Undang-Undang**

**Dilarang mencetak dan menerbitkan sebagian atau seluruh isi buku ini dengan cara dan dalam bentuk apapun tanpa seijin penulis dan penerbit.**

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kepada Allah SWT atas terselesaikannya buku ajar mata kuliah “Pengelolaan Kualitas Lingkungan (PKL)” yang merupakan mata kuliah wajib bagi mahasiswa Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro yang ditempuh pada semester 3 (Tiga).

Buku ajar ini diharapkan dapat memberikan kemudahan bagi mahasiswa untuk memahami mata kuliah PKL yang sedang ditempuh maupun bagi semua pihak yang mempelajarinya sehingga pada akhirnya dapat menyusun konsep pengelolaan lingkungan dan menyusun berbagai indek lingkungan.

Penulis sangat mengharapkan masukan dan kritikan sehingga buku ajar ini menjadi lebih baik dan dapat memberikan manfaat yang lebih luas kepada bidang ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya yang berkaitan dengan Teknik Lingkungan. Penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan berbagai bantuan untuk tersusunnya buku ajar ini

Semarang, April 2012

Penulis

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	x
<b>TINJAUAN MATA KULIAH .....</b>	<b>1</b>
I. Deskripsi Singkat .....	1
II. Relevansi .....	1
III. Kompetensi .....	1
III.1. Standar Kompetensi .....	1
III.2. Kompetensi dasar .....	1
IV. Indikator .....	2
<b>BAB I. Pengantar Index Lingkungan .....</b>	<b>3</b>
<b>I.1. Sub Pokok Bahasan : Pengantar Index Lingkungan .....</b>	<b>3</b>
1.1. Pendahuluan .....	3
1.1.1. Deskripsi .....	3
1.1.2. Relevansi .....	3
1.1.3. Kompetensi .....	3
1.2. Penyajian .....	3
1.2.1. Uraian dan Penjelasan .....	3
1.2.2. Latihan .....	4
1.3. Penutup .....	4
1.3.1. Tes Formatif .....	4
1.3.2. Umpan Balik .....	5
1.3.3. Tindak Lanjut .....	5
1.3.4. Rangkuman .....	6
1.3.5. Kunci Jawaban Tes Formatif .....	6
Daftar Pustaka .....	6
Senarai .....	6
<b>I.2. Sub Pokok Bahasan : Bahasa Index .....</b>	<b>7</b>
2.1. Pendahuluan .....	7
2.1. Deskripsi .....	7
2.1.2. Relevansi .....	7
2.1.3. Kompetensi .....	7
2.2. Penyajian .....	7
2.2.1. Uraian dan Penjelasan .....	7
2.2.2. Latihan .....	9
2.3. Penutup .....	9
2.3.1. Tes Formatif .....	9

2.3.2.	Umpan Balik .....	10
2.3.3.	Tindak Lanjut .....	10
2.3.4.	Rangkuman .....	10
2.3.5.	Kunci Jawaban Tes Formatif .....	10
	Daftar Pustaka.....	10
	Senarai .....	11
<b>I.3</b>	<b>Sub Pokok Bahasan : Teori Fungsi-Fungsi Kerusakan.....</b>	<b>12</b>
3.1.	Pendahuluan .....	12
3.1.1.	Deskripsi .....	12
3.1.2.	Relevansi.....	12
3.1.3.	Kompetensi.....	12
3.2.	Penyajian .....	12
3.2.1.	Uraian dan Penjelasan .....	12
3.2.2.	Latihan .....	15
3.3.	Penutup.....	16
3.3.1.	Tes Formatif .....	16
3.3.2.	Umpan Balik .....	16
3.3.3.	Tindak Lanjut .....	16
3.3.4.	Rangkuman .....	17
3.3.5.	Kunci Jawaban Tes Formatif .....	17
	Daftar Pustaka.....	17
	Senarai .....	17
<b>BAB II.</b>	<b>Matematis Indek Lingkungan .....</b>	<b>19</b>
<b>II.1</b>	<b>Sub Pokok Bahasan : Pengantar Struktur Matematis Indek .....</b>	<b>19</b>
1.1.	Pendahuluan .....	19
1.1.1.	Deskripsi .....	19
1.1.2.	Relevansi.....	19
1.1.3.	Kompetensi.....	19
1.2.	Penyajian .....	20
1.2.1.	Uraian dan Penjelasan .....	20
1.2.2.	Latihan .....	22
1.3.	Penutup.....	22
1.3.1.	Tes Formatif .....	22
1.3.2.	Umpan Balik .....	23
1.3.3.	Tindak Lanjut .....	23
1.3.4.	Rangkuman .....	23
1.3.5.	Kunci Jawaban Tes Formatif .....	23
	Daftar Pustaka.....	23
	Senarai .....	24
<b>II.2</b>	<b>Sub Pokok Bahasan : Fungsi Linier Indek Lingkungan .....</b>	<b>25</b>
2.1.	Pendahuluan .....	25
2.1.1.	Deskripsi .....	25
2.1.2.	Relevansi.....	25

2.1.3.	Kompetensi.....	25
2.2.	Penyajian .....	25
2.2.1.	Uraian dan Penjelasan .....	25
	A. FUNGSI LINIER .....	25
	B. Fungsi Linier Bersegmen.....	28
2.2.2.	Latihan .....	31
2.3.	Penutup.....	31
2.3.1.	Tes Formatif .....	31
2.3.2.	Umpan Balik .....	33
2.3.3.	Tindak Lanjut .....	33
2.3.4.	Rangkuman .....	33
2.3.5.	Kunci Jawaban Tes Formatif .....	33
	Daftar Pustaka.....	33
	Senarai .....	34
<b>II.3.</b>	<b>Sub Pokok Bahasan : Fungsi Non Linier Indeks Lingkungan.....</b>	<b>35</b>
3.1.	Pendahuluan .....	35
3.1.1.	Deskripsi .....	35
3.1.2.	Relevansi.....	35
3.1.3.	Kompetensi.....	35
3.2.	Penyajian .....	35
3.2.1.	Uraian dan Penjelasan .....	35
	A. FUNGSI NON LINIER.....	35
	B. Fungsi Nonlinier Bersegmen .....	39
3.2.2.	Latihan .....	40
3.3.	Penutup.....	40
3.3.1.	Tes Formatif .....	40
3.3.2.	Umpan Balik .....	41
3.3.3.	Tindak Lanjut .....	41
3.3.4.	Rangkuman .....	42
3.3.5.	Kunci Jawaban Tes Formatif .....	42
	Daftar Pustaka.....	42
	Senarai .....	42
<b>II.4.</b>	<b>Sub Pokok Bahasan : Penggabungan Subindek.....</b>	<b>43</b>
4.1.	Pendahuluan .....	43
4.1.1.	Deskripsi .....	43
4.1.2.	Relevansi.....	43
4.1.3.	Kompetensi.....	43
4.2.	Penyajian .....	43
4.2.1.	Uraian dan Penjelasan .....	43
	A. Bentuk-Bentuk Penjumlahan .....	43
	B. Root –sum-power.....	46
	C. Root-Mean-Square.....	48
	D. Maksimum Operator.....	49
	E. Bentuk-Bentuk Perkalian.....	50

F. Minimum Operator .....	54
4.2.2. Latihan .....	55
4.3. Penutup .....	55
4.3.1. Tes Formatif .....	55
4.3.2. Umpan Balik .....	57
4.3.3. Tindak Lanjut .....	57
4.3.4. Rangkuman .....	57
4.3.5. Kunci Jawaban Tes Formatif .....	57
Daftar Pustaka .....	57
Senarai .....	58
<b>BAB III. Indek Kualitas Air (IKA) .....</b>	<b>58</b>
<b>I.1. Sub Pokok Bahasan : Indek Kualitas Air (IKA) .....</b>	<b>59</b>
1.1. Pendahuluan .....	59
1.1.1. Deskripsi .....	59
1.1.2. Relevansi .....	59
1.1.3. Kompetensi .....	59
1.2. Penyajian .....	59
1.2.1. Uraian dan Penjelasan .....	59
A. Perumusan Indek Kualitas Air (IKA) .....	60
1.2.2. Latihan .....	63
1.3. Penutup .....	63
1.3.1. Tes Formatif .....	63
1.3.2. Umpan Balik .....	63
1.3.3. Tindak Lanjut .....	64
1.3.4. Rangkuman .....	64
1.3.5. Kunci Jawaban Tes Formatif .....	64
Daftar Pustaka .....	64
Senarai .....	64
<b>BAB IV. Indek Kualitas Udara .....</b>	<b>64</b>
<b>I.1. Sub Pokok Bahasan : Indek Standar Pencemaran Udara (ISPU) .</b>	<b>65</b>
1.1. Pendahuluan .....	65
1.1.1. Deskripsi .....	65
1.1.2. Relevansi .....	65
1.1.3. Kompetensi .....	65
1.2. Penyajian .....	65
1.2.1. Uraian dan Penjelasan .....	65
A. Perumusan Indek Standart Pencemar Udara (ISPU) .....	67
B. Metode Perhitungan Indek Standar Pencemar Udara (ISPU)..	70
1.2.2. Latihan .....	72
1.3. Penutup .....	72
1.3.1. Tes Formatif .....	72
1.3.2. Umpan Balik .....	72

1.3.3.	Tindak Lanjut .....	72
1.3.4.	Rangkuman .....	73
1.3.5.	Kunci Jawaban Tes Formatif .....	73
	Daftar Pustaka.....	73
	Senarai .....	73
<b>BAB V.</b>	<b>Indek Kebisingan .....</b>	<b>75</b>
<b>I.1.</b>	<b>Sub Pokok Bahasan : Indek Kebisingan .....</b>	<b>75</b>
1.1.	Pendahuluan .....	75
1.1.1.	Deskripsi .....	75
1.1.2.	Relevansi .....	75
1.1.3.	Kompetensi.....	75
1.2.	Penyajian .....	75
1.2.1.	Uraian dan Penjelasan .....	75
A.	Tingkat Tekanan Suara.....	76
B.	Tingkat Daya Suara.....	76
C.	Tingkat Intensitas Suara .....	77
D.	Pembobot A, B dan C .....	77
E.	Beberapa Sistem Skala Kebisingan .....	79
F.	Tingkat Energi Ekuivalen (Leq).....	79
G.	Tingkat Polusi Kebisingan (LNP) .....	81
H.	Indek Kualitas Kebisingan .....	82
1.2.2.	Latihan .....	85
1.3.	Penutup.....	85
1.3.1.	Tes Formatif .....	85
1.3.2.	Umpan Balik .....	86
1.3.3.	Tindak Lanjut .....	86
1.3.4.	Rangkuman .....	87
1.3.5.	Kunci Jawaban Tes Formatif .....	87
	Daftar Pustaka.....	87
	Senarai .....	87
<b>BAB VI.</b>	<b>Indek Biota Perairan dan Terrestrial.....</b>	<b>89</b>
<b>I.1.</b>	<b>Sub Pokok Bahasan : Indek Biota Perairan dan Terrestrial.....</b>	<b>89</b>
1.1.	Pendahuluan .....	89
1.1.1.	Deskripsi .....	89
1.1.2.	Kompetensi.....	89
1.2.	Penyajian .....	89
1.2.1.	Uraian dan Penjelasan .....	89
A.	Metode Penentuan Indek Biotik.....	90
B.	Sistem Saprobit.....	90
C.	Sistem Diversitas (Indek Keanekaragaman Hayati).....	91
D.	Kriteria Mutu Lingkungan Perairan Berdasarkan Indek Biotik.....	95

E. Metode Penentuan Indeks Terrestrial .....	97
1.2.2. Latihan .....	98
1.3. Penutup .....	98
1.3.1. Tes Formatif .....	98
1.3.2. Umpan Balik .....	99
1.3.3. Tindak Lanjut .....	99
1.3.4. Rangkuman .....	99
1.3.5. Kunci Jawaban Tes Formatif .....	99
Daftar Pustaka .....	99
Senarai .....	100
<b>BAB VII. Indeks Radioaktif .....</b>	<b>101</b>
<b>I.1 Sub Pokok Bahasan : Indeks Radioaktif .....</b>	<b>101</b>
1.1. Pendahuluan .....	101
1.1.1. Deskripsi .....	101
1.1.2. Relevansi .....	101
1.1.3. Kompetensi .....	101
1.2. Penyajian .....	101
1.2.1. Uraian dan Penjelasan .....	101
A. Indeks Radioaktif .....	103
B. Cara perhitungan CUEX .....	105
C. Aplikasi CUEX .....	105
1.2.2. Latihan .....	106
1.3.1. Tes Formatif .....	106
1.3.2. Umpan Balik .....	106
1.3.3. Tindak Lanjut .....	106
1.3.4. Rangkuman .....	107
1.3.5. Kunci Jawaban Tes Formatif .....	107
Daftar Pustaka .....	107
Senarai .....	107

## DAFTAR GAMBAR

Hipotesis Karakteristik Fungsi Kerusakan “Tongkat Hokey” dan Tingkat Threshold .....	14
Hipotesis Fungsi Kerusakan oleh Hershafft, Morton, dan Shea Gambar yang Menunjukkan Karakteristik Sigmoid .....	15
Diagram alir Proses Penyusunan Indek Lingkungan.....	21
Fungsi subindek naik monoton.....	26
Fungsi subindek sederhana (skala naik) yang tidak melewati titik asalnya..	27
Fungsi linier subindek dengan skala menurun.....	28
Contoh fungsi linier bersegmen (Tongkat Hokey).....	29
Bentuk umum fungsi linier bersegmen.....	30
Contoh Fungsi Implisit Subindek Nonlinier pH dari Indek Kualitas Air .....	36
Contoh Fungsi Eksplisit Subindek Nonlinier, Parabola $I=X^2$ .....	37
Contoh Fungsi Parabolik Subindek Berdasarkan Kualitas Air .....	37
Plot fungsi subindek $I=Xc$ dengan nilai c yang berbeda.....	38
Contoh Fungsi subindek eksponensial $I = aebX$ untuk $a= 100$ dan $b=-0,16$ .....	39
Contoh Fungsi Nonlinier Bersegmen pada pH untuk Indek Kualitas Air .....	40
Plot Penjumlahan Linier $I1 + I2 = 100$ yang Menunjukkan “Daerah Dua Arti (Ambiguous Region)” .....	45
Plot Penjumlahan Linier dengan Pemberatan $0,5 I1 + 0,5 I2 = 100$ .....	46
Plot dari $I = (I1^p + I2^p)^{1/p}$ untuk nilai P yang berbeda .....	47
Plot dari fungsi penggabungan akar-jumlah-kuadrat $(I1, I2)$ .....	47
Plot penggabungan fungsi akar-rata-rata-kuadrat $(I1, I2)$ .....	48
Plot dari $I = \max \{I1, I2\}$ untuk nilai I yang berbeda .....	49
Plot $I = 0,5I1 + 0,5I2$ Pada Skala Turun Yang Menunjukkan Wilayah Eclipsing untuk $I1 \leq 10$ atau $I2 \leq 10$ Sementara $I > 10$ .....	50

Plot Fungsi Penggabungan Perkalian $I = I_1 I_2$ untuk Nilai $I$ Berbeda...	52
Plot hasil pemberatan $I = I_1 I_2$ yang Menunjukkan daerah Eclipsing $I_1 \leq 10$ atau $I_2 \leq 10$ tetapi $I > 10$ .	53
Plot Fungsi Penggabungan $I = I_1 w$ yang Menunjukkan Ketajaman Kurva yang Mendekati Nol	54
Plot $I = \min I_1, I_2$ dengan nilai $I$ Berbeda	55
Karakteristik Respon Frekuensi Pembobot A, B, dan C	78
Matrik Spesies dan Cenotic Level	92
Konsep CUEX	104



# TINJAUAN MATA KULIAH

## I. Deskripsi Singkat

Mata Kuliah ini merupakan mata kuliah wajib bagi mahasiswa teknik lingkungan semester III (Tiga) yang membahas tentang penyusunan indek secara kuantitatif (indek kualitas air, udara, tanah, sosial dan biologi) dalam rangka pengelolaan kualitas lingkungan. Dengan pokok bahasan yang terdiri dari Konsep pengelolaan kualitas lingkungan, Pengantar indek lingkungan, Fungsi kerusakan Lingkungan, Struktur dan fungsi linear indek lingkungan, Indek non linear, Penggabungan fungsi indek, Menentukan indek standar pencemar air, Menentukan indek standar pencemar udara, Menentukan indek Kebisingan, Menentukan indek standar pencemar biologi, Menentukan indek radioaktif

## II. Relevansi

Mata kuliah ini merupakan mata kuliah lanjut dari mata kuliah Pengantar Teknik Lingkungan dimana dengan mempelajari mata kuliah ini mahasiswa mampu menghitung secara kuantitatif indek lingkungan dan menganalisa kualitas lingkungan serta teknik pengelolaannya baik kualitas air, tanah, udara, dan biologis serta menyusun suatu indek lingkungan

## III. Kompetensi

### 1. Standar Kompetensi

Mahasiswa dianggap telah menguasai mata kuliah ini bila mampu menetapkan, menilai, dan menganalisa kerusakan lingkungan dan melakukan monitoring dengan menetapkan berbagai parameter sub indek dan menyusun fungsi-fungsi indek lingkungan

### 2. Kompetensi dasar

Mahasiswa mampu :

1. Menetapkan berbagai kondisi kualitas lingkungan dan pengelolaannya
2. Menilai kerusakan lingkungan dan monitoring untuk menilai kondisinya.
3. Menetapkan berbagai parameter sub indek dan menyusun fungsi indek lingkungan

#### **IV. Indikator**

Mahasiswa mampu menetapkan berbagai kondisi kualitas lingkungan dan pengelolaannya :

1. Mampu menganalisa data-data lingkungan
2. Mampu menentukan kondisi kualitas lingkungan berdasarkan data-data lingkungan
3. Mampu membuat konsep pengelolaan lingkungan berdasarkan data-data lingkungan

Mahasiswa mampu menilai kerusakan lingkungan dan monitoring untuk menilai kondisinya :

1. Mampu menganalisa penyebab kerusakan lingkungan
2. Mampu melakukan monitoring terhadap berbagai parameter lingkungan
3. Mampu menilai kondisi lingkungan berdasarkan data monitoring

Mahasiswa mampu menetapkan berbagai parameter sub indek dan menyusun fungsi indek lingkungan :

1. Mampu menentukan parameter lingkungan sebagai sub indek
2. Mampu menentukan fungsi indek lingkungan berdasarkan sub indek
3. Mampu menghitung dan menganalisa indek lingkungan
4. Mampu menyusun indek lingkungan

# I

## POKOK BAHASAN : PENGANTAR INDEK LINGKUNGAN

### I.1. Sub Pokok Bahasan : Pengantar Indek Lingkungan

#### 1.1. PENDAHULUAN

##### 1.1.1. Deskripsi

Sub pokok bahasan ini membahas tentang indek secara umum dan penggunaannya di dalam pengelolaan lingkungan

##### 1.1.2. Relevansi

Sub Pokok Bahasan ini merupakan dasar umum untuk menyusun suatu indek lingkungan

##### 1.1.3. Kompetensi

###### a. Standar Kompetensi

Mahasiswa yang mempelajari sub pokok bahasan ini akan mampu menjelaskan dasar indek dan fungsinya secara umum

###### b. Kompetensi dasar

Mahasiswa mampu :

1. Menjelaskan dan memberikan contoh indek
2. Menjelaskan dan memberikan contoh fungsi indek lingkungan

#### 1.2. PENYAJIAN

##### 1.2.1. Uraian dan Penjelasan

Berbagai Penulis, Pegawai pemerintah, dan berbagai organisasi menekankan pengembangan dan penggunaan berbagai indek lingkungan. Aturan berbagai indek tersebut biasanya memainkan peranan yang berhubungan dengan alasan-alasan mendasar dimana data monitoring lingkungan dikumpulkan. Data monitoring

lingkungan berisi tentang pengukuran-pengukuran rutin variabel-variabel fisik, kimia dan biologi yang dimaksudkan untuk menggambarkan kondisi-kondisi lingkungan. Data-data tersebut sering menghasilkan batas penting yang menilai efektifitas berbagai program peraturan untuk perbaikan lingkungan.

Laporan National Academy of Sciences (NAS) menunjukkan performa indeks lingkungan penting dalam empat area:

- Membantu memformulasikan kebijakan
- Menjelaskan terhadap efektifitas program-program perlindungan terhadap lingkungan
- Membantu dalam desain program-program tersebut
- Memfasilitasi komunikasi dengan publik yang menaruh perhatian terhadap berbagai kondisi lingkungan dan mempercepat kemajuannya

Indek dikembangkan atau disusun untuk enam dasar penggunaan tetapi kadang penerapannya untuk lebih dari satu :

- Alokasi sumber : indeks dapat diterapkan untuk keputusan lingkungan untuk membantu manager dalam mengalokasikan dana dan memperkirakan prioritas.
- Merangking berbagai lokasi : indeks dapat diterapkan untuk membantu dalam membandingkan berbagai kondisi lingkungan di lokasi yang berbeda atau area-area geografis.
- Membuat berbagai standar: indeks dapat diterapkan di lokasi spesifik untuk memperkirakan tingkatan berbagai standar legislatif dan kriteria yang ada akan sesuai atau tidak.

### **1.2.2. Latihan**

1. Jelaskan dan berikan contoh yang dimaksud dengan indeks lingkungan
2. Jelaskan dan berikan contoh fungsi indeks lingkungan

## **1.3. PENUTUP**

### **1.3.1. Tes Formatif**

1. Data-data monitoring lingkungan merupakan gambaran dari :
  - a. Polusi lingkungan
  - b. Besar polutan
  - c. Kondisi lingkungan
  - d. kualitas lingkungan

2. Indek dapat diterapkan untuk keputusan lingkungan untuk membantu manager dalam mengalokasikan dana dan memperkirakan prioritas merupakan salah satu disusunnya indek lingkungan untuk:
  - a. variabel lingkungan
  - b. variabel polutan
  - c. parameter lingkungan
  - d. kualitas lingkungan
3. kuantitas tunggal yang berasal dari satu variabel polutan dan digunakan untuk menggambarkan beberapa atribut lingkungan disebut :
  - a. variabel lingkungan
  - b. indikator lingkungan
  - c. parameter lingkungan
  - d. kualitas lingkungan
4. Indikator-indikator lingkungan dapat ditampilkan secara individu atau gabungan matematis dalam beberapa bentuk disebut :
  - a. variabel lingkungan
  - b. kualitas linvariabel polutan
  - c. indek
  - d. indek lingkungan
5. Jumlah indikator yang ada pada saat yang sama untuk menghasilkan gambaran kondisi lingkungan (tetapi tidak digabungkan) disebut :
  - a. Profil lingkungan
  - b. kualitas lingkungan
  - c. Profil kualitas lingkungan
  - d. Profil indek lingkungan

### **1.3.2. Umpan Balik**

Apabila minimal 4 jawaban anda benar berarti anda telah menguasai materi ini dengan baik dan bila kurang dari 4 jawaban anda yang benar berarti anda masih kurang menguasai materi ini

### **1.3.3. Tindak Lanjut**

Bagi anda yang telah menguasai materi ini anda dapat melanjutkan ke sub pokok bahasan selanjutnya, sedangkan anda yang masih kurang menguasai materi ini maka anda harus

memelajari kembali materi ini dan dipahami dengan contoh-contoh konkrit di sekitar anda

#### **1.3.4. Rangkuman**

Untuk melakukan suatu pengelolaan kualitas lingkungan diperlukan dasar-dasar istilah atau bahasa indek yang harus dipahami berupa variabel, parameter, indikator, dan indek.

#### **1.3.5. Kunci Jawaban Tes Formatif**

1. B      2. D      3. B      4. D      5. C

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- D'Eridita', L, 1995. Soil and Soil Related Indicators and Indices for Environmental Impact Assessment, European Comission
- Helawell, J.M, 1986, Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management (Pollution Monitoring Series), Kluwer Academic Publishers
- Hoag, D.L., Ascough Ii, J.C., Keske-Handley, C.G., Koontz, L.R. 2005. "Decision making with environmental indices" , EOLSS Publishers Co Ltd
- Inhaber, H, 1976 "Environmental Indices (Environmental Science and Technology Series), John Wiley & Sons
- Ott, R.W, 1979, Environmental Indices: Theory and Practice, Ann Arbor Science Publishers
- Pyhk, Yuri; Hyatt, D.R.; Lenz Roman J.L., 1999 "Environmental Indices: System Analysis Approach (Advances in Sustainable Development) EOLSS Publishers Co Ltd

#### **SENARAI**

Variabel : sesuatu yang mempunyai variasi nilai bersifat mewakili hal tertentu

## **I.2 Sub Pokok Bahasan : Bahasa Indek**

### **2.1. PENDAHULUAN**

#### **2.1. Deskripsi**

Sub pokok bahasan ini membahas tentang bahasa yang digunakan untuk menggambarkan data polusi lingkungan berupa variable lingkungan, indikator lingkungan, parameter lingkungan

#### **2.1.2. Relevansi**

Sub Pokok Bahasan ini merupakan dasar pengertian untuk menyusun suatu indek lingkungan

#### **2.1.3. Kompetensi**

##### **a. Standar Kompetensi**

Mahasiswa yang mempelajari sub pokok bahasan ini akan mampu menjelaskan variabel lingkungan, indikator lingkungan, dan indek lingkungan sebagai dasar penyusunan indek lingkungan

##### **b. Kompetensi dasar**

Mahasiswa mampu :

1. Menjelaskan dan memberikan contoh variabel lingkungan
2. Menjelaskan dan memberikan contoh indikator lingkungan
3. Menjelaskan dan memberikan contoh indek lingkungan

### **2.2. PENYAJIAN**

#### **2.2.1. Uraian dan Penjelasan**

Beberapa bahasa umum dikembangkan untuk menggambarkan data polusi. Dalam area indek lingkungan, tidak semua istilah seragam. Untuk menghindari kerancuan kita seharusnya memasukkan beberapa definisi dari istilah yang konsisten yang akan digunakan.

Dalam ilmu matematika istilah “variabel” biasanya mengacu pada beberapa atribut dari ketertarikan yang diambil pada nilai-nilai yang berbeda. Dalam profesi lingkungan, kata “parameter” biasa digunakan untuk menggantikan “variabel lingkungan” yaitu beberapa kuantitas lingkungan yang diukur. Untuk menghindari kerancuan antara istilah matematis dan bahasa lingkungan, harus

digunakan istilah “variabel polutan” yaitu *setiap kuantitas fisik, kimia, atau biologi yang dimaksudkan sebagai ukuran polusi lingkungan*. Sebagai contoh, pengurangan visibilitas oleh partikel-partikel atmosfer, konsentrasi SO<sub>2</sub> di atmosfer, keasaman sungai, atau massa emisi polutan yang dikeluarkan dari cerobong asap setiap jam semuanya adalah variabel polutan.

Berbagai indeks lingkungan seringkali termasuk variabel-variabel lingkungan yang menggambarkan kuantitas polutan yang dilepasakan ke dalam lingkungan-massa berbagai polutan yang diemisikan dari cerobong asap atau berbagai efluen dari instalasi pengolahan limbah cair-dan bukan kuantitas sebenarnya yang ada dalam lingkungan ambien setelah terjadi difusi dan pencampuran. Karena sumber variabel-variabel polutan hanya menyinggung kuantitas polutan yang awalnya dikeluarkan ke dalam lingkungan sehingga tidak secara langsung menggambarkan bagian dari lingkungan. Variabel-variabel yang menggambarkan bagian dari lingkungan disebut *kualitas lingkungan*, variabel-variabel polutannya diukur pada kondisi-kondisi aktual ambien, kandungan pestisida dalam tanah, konsentrasi berbagai gas di atmosfer, kuantitas berbagai substansi toksik dalam sungai.

Istilah “indikator lingkungan” adalah kuantitas tunggal yang berasal dari satu variabel polutan dan digunakan untuk menggambarkan beberapa atribut lingkungan. Misalnya, *jumlah hari* observasi konsentrasi SO<sub>2</sub> di atmosfer yang melebihi baku mutu udara ambien dengan menggunakan indikator tingkat polusi SO<sub>2</sub>. Hal yang sama adalah variasi angka 0 dan 1 yang menggambarkan kuantitas DO dalam sungai merupakan indikator lingkungan dari kandungan DO.

Indikator-indikator lingkungan dapat ditampilkan secara individu atau gabungan matematis dalam beberapa bentuk “indeks lingkungan”. Indeks adalah angka tunggal yang berasal dari dua atau lebih indikator. Penghitungan indeks pada langkah awalnya biasanya menghitung indikator-indikator tunggal, satu untuk setiap variabel polutan. Indikator-indikator juga berdasarkan pada “subindeks”. Perbedaan mendasar antara indikator dan indeks adalah indikator berasal dari variabel polutan tunggal, sedangkan indeks berasal dari satu variabel polutan. Jumlah indikator yang ada pada saat yang sama untuk menghasilkan gambaran kondisi lingkungan (tetapi tidak digabungkan) disebut “Profil kualitas lingkungan”.

### **2.2.2. Latihan**

1. Jelaskan dan berikan contoh variabel lingkungan
2. Jelaskan dan berikan contoh indikator lingkungan
3. Jelaskan dan berikan contoh indek lingkungan

### **2.3. PENUTUP**

#### **2.3.1. Tes Formatif**

1. setiap kuantitas fisik, kimia, atau biologi yang dimaksudkan sebagai ukuran polusi lingkungan disebut,
  - a. variabel lingkungan
  - b. variabel polutan
  - c. parameter lingkungan
  - d. kualitas lingkungan
2. Variabel-variabel yang menggambarkan bagian dari lingkungan disebut :
  - a. variabel lingkungan
  - b. variabel polutan
  - c. parameter lingkungan
  - d. kualitas lingkungan
3. Kuantitas tunggal yang berasal dari satu variabel polutan dan digunakan untuk menggambarkan beberapa atribut lingkungan disebut :
  - a. variabel lingkungan
  - b. indikator lingkungan
  - c. parameter lingkungan
  - d. kualitas lingkungan
4. Indikator-indikator lingkungan dapat ditampilkan secara individu atau gabungan matematis dalam beberapa bentuk disebut :
  - a. variabel lingkungan
  - b. kualitas variabel polutan
  - c. indek
  - d. indek lingkungan
5. Jumlah indikator yang ada pada saat yang sama untuk menghasilkan gambaran kondisi lingkungan (tetapi tidak digabungkan) disebut :
  - a. Profil lingkungan
  - b. kualitas lingkungan
  - c. Profil kualitas lingkungan
  - d. Profil indek lingkungan

### **2.3.2. Umpan Balik**

Apabila minimal 4 jawaban anda benar berarti anda telah menguasai materi ini dengan baik dan bila kurang dari 4 jawaban anda yang benar berarti anda masih kurang menguasai materi ini

### **2.3.3. Tindak Lanjut**

Bagi anda yang telah menguasai materi ini anda dapat melanjutkan ke sub pokok bahasan selanjutnya, sedangkan anda yang masih kurang menguasai materi ini maka anda harus mempelajari kembali materi ini dan dipahami dengan contoh-contoh konkrit di sekitar anda.

### **2.3.4. Rangkuman**

Beberapa bahasa umum dikembangkan untuk menggambarkan data polusi. Dalam area indek lingkungan. Untuk menghindari kerancuan antara istilah matematis dan bahasa lingkungan, harus digunakan istilah “variabel polutan”. Indikator-indikator lingkungan dapat ditampilkan secara individu atau gabungan matematis dalam beberapa bentuk “indek lingkungan”.

### **2.3.5. Kunci Jawaban Tes Formatif**

1. B      2. D      3.B      4. D      5. C

## **DAFTAR PUSTAKA**

- D'Eridita', L, 1995. Soil and Soil Related Indicators and Indices for Environmental Impact Assessment, European Comission
- Helawell, J.M, 1986,Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management (Pollution Monitoring Series), Kluwer Academic Publishers
- Hoag, D.L., Ascough Ii, J.C., Keske-Handley, C.G., Koontz, L.R. 2005. “Decision making with environmental indices” , EOLSS Publishers Co Ltd
- Inhaber, H, 1976 “Environmental Indices (Environmental Science and Technology Series), John Wiley & Sons
- Ott, R.W, 1979, Environmental Indices: Theory and Practice, Ann Arbor Science Publishers
- Pyhk, Yuri; Hyatt, D.R.; Lenz Roman J.L., 1999 “Environmental Indices: System Analysis Approach (Advances in Sustainable Development) EOLSS Publishers Co Ltd

**SENARAI**

Ambient : lingkungan sekitar kita

Profil : Kondisi yang menjelaskan keadaan tertentu

### **I.3 Sub Pokok Bahasan : Teori Fungsi-Fungsi Kerusakan**

#### **3.1. PENDAHULUAN**

##### **3.1.1. Deskripsi**

Sub pokok bahasan ini membahas tentang teori fungsi kerusakan lingkungan

##### **3.1.2. Relevansi**

Sub Pokok Bahasan ini merupakan dasar pengertian teori fungsi kerusakan lingkungan “Tongkat Hokey”, Tingkat Threshold, dan Sigmoid.

##### **3.1.3. Kompetensi**

###### **a. Standar Kompetensi**

Mahasiswa yang mempelajari sub pokok bahasan ini akan mampu menjelaskan teori karakteristik fungsi kerusakan lingkungan berupa karakteristik “Tongkat Hokey”, Tingkat Threshold, dan Sigmoid

###### **b. Kompetensi dasar**

Mahasiswa mampu :

1. Menjelaskan dan memberikan contoh karakteristik fungsi kerusakan lingkungan secara umum
2. Menjelaskan dan memberikan contoh karakteristik fungsi kerusakan berdasarkan pola “Tongkat Hokey”, Tingkat Threshold, dan Sigmoid

#### **3.2. PENYAJIAN**

##### **3.2.1. Uraian dan Penjelasan**

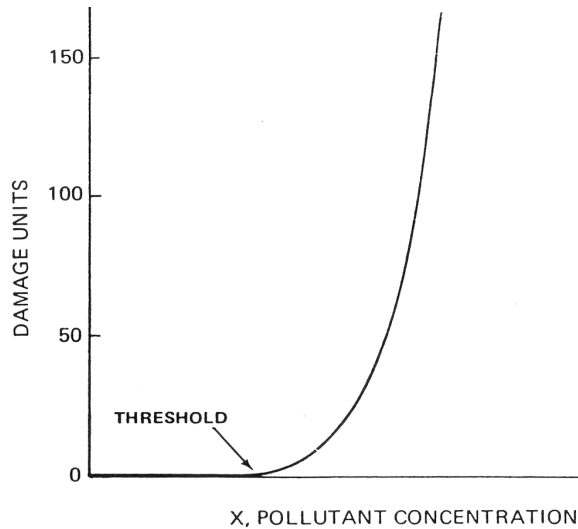
Jika fungsi-fungsi kerusakan yang valid dikembangkan, akan tampak seperti apa? Dari teori aslinya dapat ditunjukkan fenomena “threshold”. Fenomena threshold berdampak bahwa sedikit di bawah nilai minimum threshold tidak ada kerusakan yang terjadi, di atas nilai threshold, efek akan naik dengan cepat sejalan dengan kenaikan variable polutan. Hipotesis keberadaan tingkatan threshold disebut juga “Threshold Limiting Value(TLV)” yang didasarkan pada konsep adaptasi yaitu kecenderungan manusia

dan organisme hidup lain untuk mengembangkan toleransi terhadap berbagai racun berkonsentrasi rendah. Sebagai contoh banyak polutan udara yang berasal dari alam dan buatan manusia, seperti pembakaran hutan, organisme laut, dan reaksi fotokimia dengan senyawa-senyawa organik yang dihasilkan tanaman. Ekspos yang terus menerus menyebabkan berkembangnya toleransi yang digambarkan oleh keberadaan tingkat threshold.

Argumen kedua untuk keberadaan TLV adalah mekanisme biokimia oleh aktivitas selular akibat berbagai substansi asing. Argumen ini didasarkan bahwa interaksi kimia dengan sistem-sistem biologi dapat terjadi hanya pada saat sejumlah besar atom atau molekul substansi asing yang hadir memadai. Meskipun pengetahuan yang ada belum memadai untuk membangun model interaksi biokimia seluler tersebut, Dinmann dan yang lain mempunyai pendapat bahwa akan terjadi sedikit perubahan aktivitas biokimia jika konsentrasi atom atau molekul per sel kurang dari 10.000. Meskipun hal ini masih diperdebatkan tetapi beberapa eksperimen mendukung keberadaan tingkat threshold khususnya untuk substansi-substansi toksik seperti timbal. Berbagai organisme biologis sering menunjukkan resistensi terhadap berbagai polutan pada konsentrasi yang sangat rendah. Jika konsentrasi naik barrier tingkat resistensi akan rusak dan terjadi efek yang signifikan.

Fungsi kerusakan bersama fenomena threshold pertama-tama akan horisontal tetapi kemudian slopenya akan naik dengan cepat pada saat threshold dicapai (gambar 1). Seperti pada gambar dengan unit kerusakan diplot pada ordinat dan konsentrasi polutan pada absis akan menggambarkan seperti "tongkat hokey". Hasselblad, Creason, dan Nelson mendiskripsikan kurva ini :

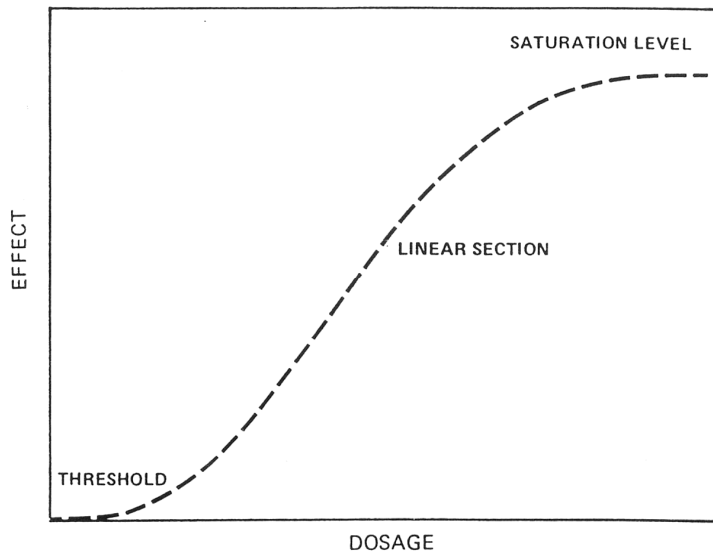
*The establishment of criteria for air pollutants requires that a threshold level be established below which no adverse health effects are observed. Since standard dose-response curves, such as the logit or probit, assume an effect at all levels, a segmented function was developed. This function has zero slope up to a point, and then increases monotonically from that point. Thus the name "hockey stick" function.*



Gambar 3.1. Hipotesis Karakteristik Fungsi Kerusakan “Tongkat Hokey” dan Tingkat Threshold

Hipotesis fungsi kerusakan yang dinyatakan oleh Hershaft, Morton, dan Shea mempunyai karakteristik yang sama dengan bentuk mendekati bentuk aslinya, tetapi disimpulkan bahwa semua fungsi kerusakan seharusnya juga termasuk “tingkat saturasi” yang menghasilkan bentuk sigmoid atau kurva bentuk-s (gambar 2.2) :

*The ordinate may represent either the number of individuals affected or severity of effect The abscissa indicates the dosage in terms of time at a given ambient concentration, or in terms of ambient concentration for a fixed period of time. The lower portion of the curve suggests that, up to a certain exposure value, known as a threshold level, no damage is observed, while the upper portion indicates that there exists a damage saturation level (ag., death of the target population or total destruction of the crops), beyond which increased exposure levels do not produce additional damage. The middle, quasilinear portion is very useful in that any data points here can be readily interpolated, and the frequent assumption about linearity of a damage function is most valid in this sector.*



Gambar 3.2. Hipotesis Fungsi Kerusakan oleh Hershafft, Morton, dan Shea yang Menunjukkan Karakteristik Sigmoid

Sebenarnya sangat sulit dalam penelitian sebenarnya untuk membuat fungsi-fungsi kerusakan seperti kurva-kurva teoritis yang ada. Studi penelitian berbagai efek polutan biasanya hanya terdiri dua variabel (misalnya, materi partikulat dan tingkat kematian) yang “berhubungan” secara statistik berkorelasi secara signifikan. Pada studi penelitian lebih rumit oleh kenyataan bahwa orang yang berbeda akan mempunyai fungsi-fungsi dosis-efek dan efek-efek sinergis yang berbeda pula pada saat lebih dari satu polutan beraksi bersama-sama. Hal ini menyebabkan sering tidak mungkin untuk mengidentifikasi fungsi dosis-efek yang diaplikasikan kepada variabel polutan tunggal dan mencakup semua segmen dari populasi.

### 3.2.2. Latihan

1. Jelaskan dan berikan contoh yang dimaksud dengan teori kerusakan
2. Jelaskan dan berikan contoh teori kerusakan yang mengikuti karakteristik “tongkat hokey”?

### **3.3. PENUTUP**

#### **3.3.1. Tes Formatif**

1. Hipotesis keberadaan tingkatan threshold disebut,
  - a. karakteristik kerusakan lingkungan
  - b. Threshold Limiting Value
  - c. Karakteristik “Tongkat hokey”
  - d. Threshold Limiting factor
2. “Threshold Limiting Value(TLV)” didasarkan pada konsep :
  - a. Konsentrasi rendah
  - b. Keseimbangan
  - c. Keracunan
  - d. Adaptasi
3. Jika konsentrasi naik barrier tingkat resistensi akan rusak dan terjadi efek yang signifikan. Karakteristik ini mengikuti pola :
  - a. Threshold
  - b. Tongkat hokey
  - c. Sigmoid
  - d. Eksponensial
4. Studi penelitian berbagai efek polutan biasanya terdiri variabel:
  - a. Konsentrasi dan dosis
  - b. Dosis dan profil
  - c. Dosis dan efek
  - d. Dosis dan keseimbangan
5. Hipotesis fungsi kerusakan yang dinyatakan oleh Hershaff, Morton, dan Shea mempunyai karakteristik yang menghasilkan bentuk :
  - a. Eksponensial
  - b. Tongkat Hokey
  - c. Sigmoid
  - d. Threshold

#### **3.3.2. Umpan Balik**

Apabila semua jawaban anda benar berarti anda telah menguasai materi ini dengan baik dan apabila jawaban anda masih ada yang belum benar berarti anda masih kurang menguasai materi ini

#### **3.3.3. Tindak Lanjut**

Bagi anda yang telah menguasai materi ini anda dapat melanjutkan ke sub pokok bahasan selanjutnya, sedangkan anda

yang masih kurang menguasai materi ini maka anda harus mempelajari kembali materi ini dan dipahami dengan contoh-contoh konkrit di sekitar anda

#### **3.3.4. Rangkuman**

Fungsi-fungsi kerusakan yang valid dikembangkan berupa karakteristik yang mengikuti pola “Tingkat Hokey”, Tingkat Threshold, dan Sigmoid tetapi sebenarnya sangat sulit dalam penelitian sebenarnya untuk membuat fungsi-fungsi kerusakan seperti kurva-kurva teoritis yang ada.

#### **3.3.5. Kunci Jawaban Tes Formatif**

1. B                      2. D                      3. A                      4. C                      5. C

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- D'Eridita', L, 1995. Soil and Soil Related Indicators and Indices for Environmental Impact Assessment, European Commission
- Helawell, J.M, 1986, Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management (Pollution Monitoring Series), Kluwer Academic Publishers
- Hoag, D.L., Ascough II, J.C., Keske-Handley, C.G., Koontz, L.R. 2005. “Decision making with environmental indices” , EOLSS Publishers Co Ltd
- Inhaber, H, 1976 “Environmental Indices (Environmental Science and Technology Series), John Wiley & Sons
- Ott, R.W, 1979, Environmental Indices: Theory and Practice, Ann Arbor Science Publishers
- Pyhk, Yuri; Hyatt, D.R.; Lenz Roman J.L., 1999 “Environmental Indices: System Analysis Approach (Advances in Sustainable Development) EOLSS Publishers Co Ltd

#### **SENARAI**

- Threshold : Titik batas  
Hipotesis : Dugaan Sementara



# II

## POKOK BAHASAN : MATEMATIS INDEK LINGKUNGAN

### II.1 Sub Pokok Bahasan : Pengantar Struktur Matematis Indeks

#### 1.1. PENDAHULUAN

##### 1.1.1. Deskripsi

Sub pokok bahasan ini membahas tentang pengertian indeks dan bentuk umum struktur indeks lingkungan, teori dasar perhitungan indeks lingkungan.

##### 1.1.2. Relevansi

Sub Pokok Bahasan ini merupakan teori dasar pengertian indeks, bentuk umum struktur matematis indeks, dan dasar perhitungan indeks lingkungan.

##### 1.1.3. Kompetensi

###### a. Standar Kompetensi

Mahasiswa yang mempelajari sub pokok bahasan ini akan mampu memahami konsep dasar pengertian indeks, bentuk umum struktur matematis indeks, dan dasar perhitungan indeks lingkungan.

###### b. Kompetensi dasar

Mahasiswa mampu :

1. Menjelaskan indeks lingkungan secara teoritis
2. Menjelaskan dan memberikan contoh bentuk umum struktur matematis indeks lingkungan
3. Menjelaskan dan memberikan contoh perhitungan indeks lingkungan secara teoritis

## 1.2. PENYAJIAN

### 1.2.1. Uraian dan Penjelasan

Indek adalah untuk menyederhanakan yang merupakan proses dari sejumlah informasi yang mungkin menjadi sebuah pengertian yang penting. Melalui manipulasi matematis, indek lingkungan dilakukan untuk mereduksi dua atau lebih variabel lingkungan menjadi angka tunggal ( atau satu set angka, kata-kata atau simbol) yang mempunyai arti. Meskipun indek-indek lingkungan yang dikembangkan menunjukkan variasi yang besar dan perbedaan yang nyata, hal ini memungkinkan untuk membentuk cara kerja matematis yang bersifat umum sehingga dapat mengakomodasi sebagian besar berbagai indek lingkungan.

Bentuk umum indek ada dua yaitu : 1) Nilai indek yang naik dengan naiknya polusi lingkungan., 2)Nilai indek yang turun dengan naiknya polusi lingkungan. Menurut beberapa ahli yang pertama sebagai indek “polusi lingkungan (environmental pollution indices) dan yang kedua sebagai indek “kualitas lingkungan (environmental quality indices)”.

Berdasarkan terminologi tersebut indek dengan  $I=0$  berarti air murni dan  $I=100$  menunjukkan air sangat tercemar, disebut indek “polusi air (water pollution)”, sebaliknya indek dengan  $I=0$  berarti kualitas air yang jelek dan  $I=100$  menunjukkan kualitas air yang baik, disebut indek “kualitas air (water quality)”. Istilah ini tidak diterima secara universal, sehingga untuk mengatasi keraguan maka ditetapkan indek :1) bentuk “skala naik (increasing scale)” yaitu nilai indek yang naik dengan kenaikan polusi, 2) bentuk “skala turun (decreasing scale)” yaitu nilai indek yang menurun dengan kenaikan polusi. Indek polusi udara umumnya berbentuk skala naik, sedangkan indek polusi air ( atau kualitas air) berbentuk skala turun. Perbedaan ini berasal dari komunikasi yang terbatas antara pengembang indek polusi air dan polusi udara.

Perhitungan indek lingkungan terdiri dari dua langkah dasar yaitu:

1. Perhitungan subindek variable-variabel polutan yang digunakan dalam indek.
2. Penggabungan berbagai subindek ke dalam indek.

Satu set penelitian untuk n variable polutan dimana  $X_1$  sebagai nilai untuk polutan variable pertama,  $X_2$  sebagai nilai untuk polutan variable kedua, dan  $X_i$  sebagai nilai untuk polutan variable ke-i, kemudian satu set penelitian sebagai  $(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n)$ . Untuk setiap variable polutan  $X_i$ , sub indeks  $I_i$  dihitung menggunakan fungsi sub indeks  $f_i(X_i)$ :

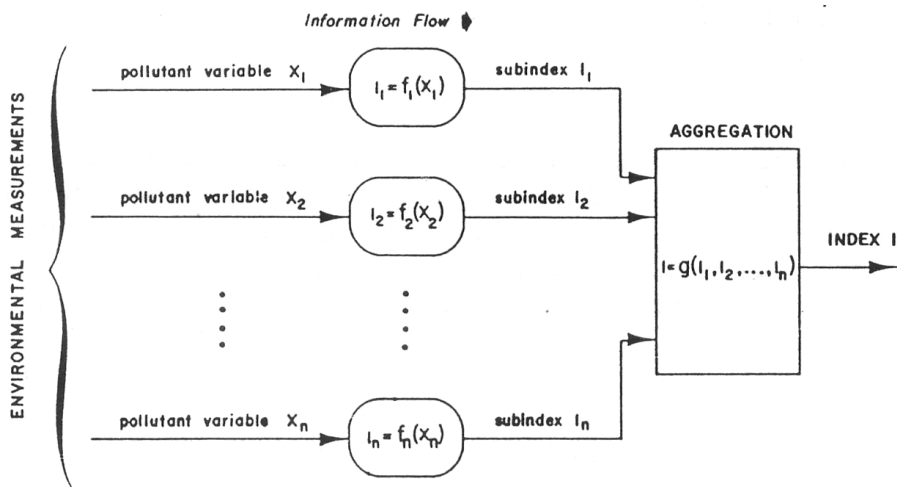
$$I_i = f_i(X_i) \dots\dots\dots (1)$$

Dalam kebanyakan indeks, perbedaan fungsi matematis digunakan untuk menghitung setiap variable polutan, fungsi-fungsi subindek  $f_1(X_1), f_2(X_2), \dots, f_n(X_n)$ . Setiap subindek menggambarkan karakteristik lingkungan yang merupakan bagian dari variable polutan. Fungsi-fungsi tersebut dapat berupa perkalian sederhana, atau kenaikan variable polutan sesuai power, atau beberapa yang lain berupa hubungan fungsi.

Subindek-subindek yang dihitung biasanya digabungkan melalui langkah matematis menjadi bentuk indeks akhir :

$$I = g(I_1, I_2, \dots, I_n) \dots\dots\dots (2)$$

Penggabungan fungsi tersebut biasanya berupa operasi penjumlahan atau operasi perkalian, atau operasi maksimum, Seluruh proses perhitungan tersebut dapat digambarkan dengan diagram alir sebagai berikut :



Gambar 1.1. Diagram alir Proses Penyusunan Indeks Lingkungan

### **1.2.2. Latihan**

1. Jelaskan dan berikan contoh bentuk umum secara matematis indek lingkungan
2. Jelaskan dan berikan contoh langkah dasar dalam pembentukan indek lingkungan

## **1.3. PENUTUP**

### **1.3.1. Tes Formatif**

1. Inti dari pembentukan suatu indek lingkungan adalah untuk,
  - a. Menentukan sub indek
  - b. Menyederhanakan dari sejumlah informasi kualitas lingkungan
  - c. Menggabungkan berbagai nilai lingkungan
  - d. Menentukan baku mutu lingkungan
2. Nilai indek yang naik sejalan dengan naiknya polusi lingkungan disebut :
  - a. Skala Naik
  - b. Skala Turun
  - c. Skala lingkungan
  - d. Skala Polusi
3. Nilai indek yang turun dengan naiknya tingkat polusi disebut juga indek :
  - a. Polusi Lingkungan
  - b. Kualitas lingkungan
  - c. Profil lingkungan
  - d. Nilai lingkungan
4. Indek polusi udara biasanya berbentuk:
  - a. Linier
  - b. Eksponensial
  - c. Skala naik
  - d. Skala turun
5. Setiap subindek menggambarkan karakteristik lingkungan yang merupakan bagian dari :
  - a. Kondisi Lingkungan
  - b. Kualitas Lingkungan
  - c. Variabel lingkungan
  - d. Profil lingkungan

### **1.3.2. Umpan Balik**

Apabila semua jawaban anda benar berarti anda telah menguasai materi ini dengan baik dan apabila jawaban anda masih ada yang belum benar berarti anda masih kurang menguasai materi ini

### **1.3.3. Tindak Lanjut**

Bagi anda yang telah menguasai materi ini anda dapat melanjutkan ke sub pokok bahasan selanjutnya, sedangkan anda yang masih kurang menguasai materi ini maka anda harus mempelajari kembali materi ini dan dipahami dengan contoh-contoh konkrit di sekitar anda

### **1.3.4. Rangkuman**

Indek adalah untuk menyederhanakan yang merupakan proses dari sejumlah informasi yang mungkin menjadi sebuah pengertian yang penting. Bentuk umum indek ada dua yaitu Nilai indek yang naik dengan naiknya polusi lingkungan yang disebut juga sebagai indek polusi lingkungan dan nilai indek yang turun dengan naiknya polusi lingkungan yang disebut juga sebagai indek kualitas lingkungan. Perhitungan indek lingkungan terdiri dari dua langkah dasar yaitu: Perhitungan subindek variable-variabel polutan yang digunakan dalam indek dan penggabungan berbagai subindek ke dalam indek.

### **1.3.5. Kunci Jawaban Tes Formatif**

1.B    2. A    3. B    4. C    5. C

## **DAFTAR PUSTAKA**

- D'Eridita', L, 1995. Soil and Soil Related Indicators and Indices for Environmental Impact Assessment, European Comission
- Helawell, J.M, 1986,Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management (Pollution Monitoring Series), Kluwer Academic Publishers
- Hoag, D.L., Ascough Ii, J.C., Keske-Handley, C.G., Koontz, L.R. 2005. "Decision making with environmental indices" , EOLSS Publishers Co Ltd
- Inhaber, H, 1976 "Environmental Indices (Environmental Science and Technology Series), John Wiley & Sons

Ott, R.W, 1979, Environmental Indices: Theory and Practice, Ann Arbor Science Publishers

Pyhk, Yuri; Hyatt, D.R.; Lenz Roman J.L., 1999 "Environmental Indices: System Analysis Approach (Advances in Sustainable Development) EOLSS Publishers Co Ltd

**SENARAI**

Polutan : zat atau materi yang mejadi penyebab timbulnya polusi

## II.2 Sub Pokok Bahasan : Fungsi Linier Indek Lingkungan

### 2.1. PENDAHULUAN

#### 2.1.1. Deskripsi

Sub pokok bahasan ini membahas tentang bentuk matematis fungsi linier dan fungsi linier bersegmen

#### 2.1.2. Relevansi

Sub Pokok Bahasan ini merupakan dasar matematis bentuk fungsi linier indek indek lingkungan

#### 2.1.3. Kompetensi

##### a. Standar Kompetensi

Mahasiswa yang mempelajari sub pokok bahasan ini akan mampu memahami konsep fungsi linier dalam struktur indek berupa fungsi linier dan fungsi linier bersegmen

##### b. Kompetensi dasar

Mahasiswa mampu :

1. Menjelaskan dan memplot fungsi linier
2. Menjelaskan dan memplot fungsi linier bersegmen
3. Menjelaskan dan memberikan contoh bentuk matematis fungsi linier dan fungsi linier bersegmen

### 2.2. PENYAJIAN

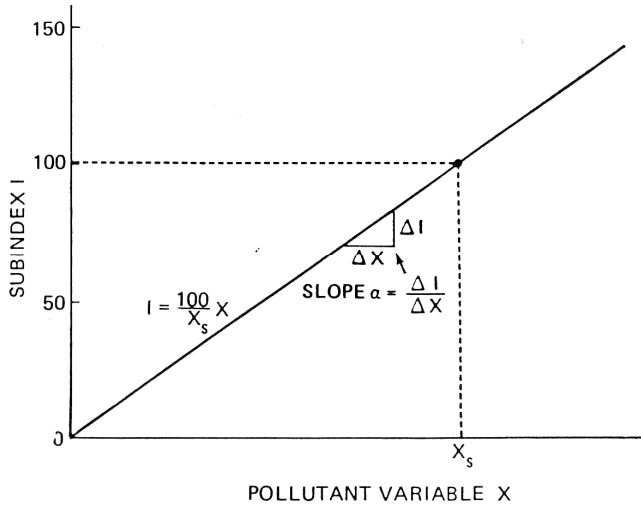
#### 2.2.1. Uraian dan Penjelasan

##### A. FUNGSI LINIER

Fungsi subindek yang paling sederhana adalah fungsi linier :

$$I = \alpha X \dots\dots\dots (3)$$

dapat digambarkan dengan grafik berikut :



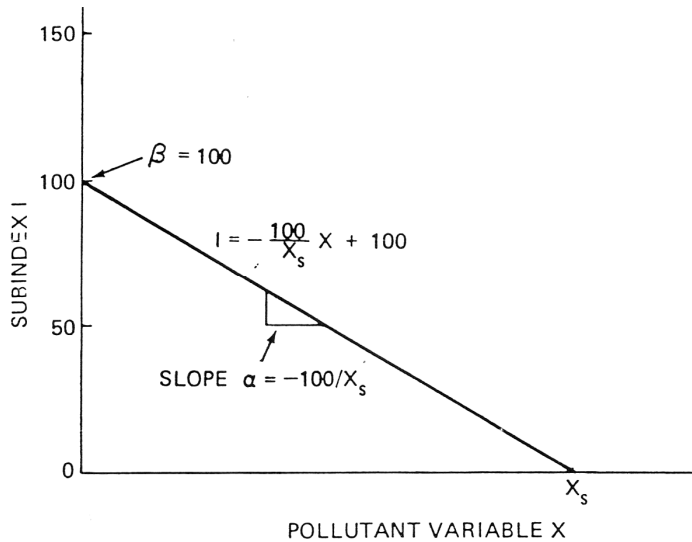
Gambar 2.1. Fungsi subindek naik monoton

Berdasarkan fungsi tersebut terdapat bagian langsung antara subindek dengan variabel polutan, sehingga variabel polutan  $X$  ganda akan menghasilkan subindek  $I$  ganda pula. Slope kurva  $\alpha$  konstan, akibatnya untuk setiap perubahan absolut  $\Delta X$ , subindek berubah  $\Delta I = \alpha \Delta X$  unit. Sebagai contoh jika  $\alpha$  ditentukan sehingga  $I = 100$  sebagai standar lingkungan,  $X = X_s$ , kemudian  $\alpha = 100 / X_s$  dan subindek  $I$  dapat diartikan sebagai “Persen standar”.

Pada contoh di atas, garis lurus melewati asal  $I = 0$  untuk  $X = 0$ . Fungsi linier subindek sederhana dapat didasarkan dari aslinya dengan menambahkan konstanta  $\beta$  menjadi :

$$I = \alpha X + \beta \quad \dots\dots\dots (4)$$

Dimana konstanta  $\beta$  sebagai intersep dari aksis  $I$ , dengan  $I = \beta$  untuk  $X = 0$  seperti gambar berikut dengan  $\alpha = 125$  dan  $\beta = 75$  :



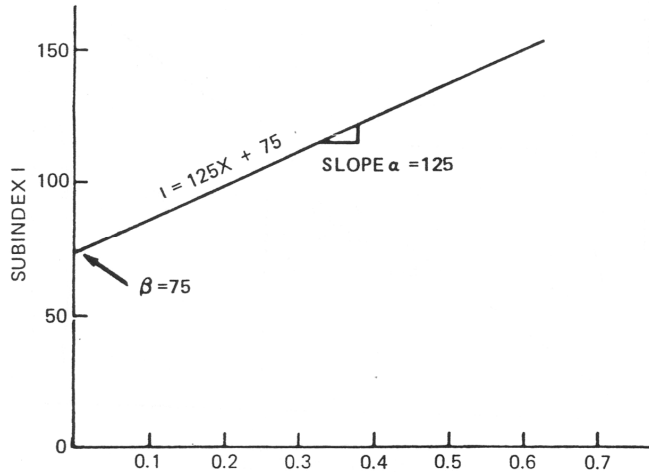
Gambar 2.2. Fungsi subindek sederhana (skala naik) yang tidak melewati titik asalnya

Jika  $\alpha$  lebih dari nol, persamaan 3 dan 4 akan menghasilkan skala fungsi subindek  $X$  yang naik sehingga untuk setiap kenaikan  $X$ ,  $I$  juga akan naik. Jika  $\alpha$  kurang dari nol, fungsi subindek akan berupa skala turun (turun secara monoton). Jika ditentukan  $\alpha = -100/X_s$  dan  $\beta = 100$ , skala menurun fungsi subindek akan menghasilkan  $I=100$  untuk  $X=0$  dan  $I=0$  untuk  $X=X_s$ , seperti pada gambar di bawah dengan persamaan:

$$I = -\frac{100}{X_s} X + 100 \dots\dots\dots (5)$$

Persamaan 5 menunjukkan bentuk skala turu dari “Persen Standar” dimana 100 menunjukkan kualitas 100% (tidak ada polusi), dan 0 adalah kualitas 0% (mencapai standar).

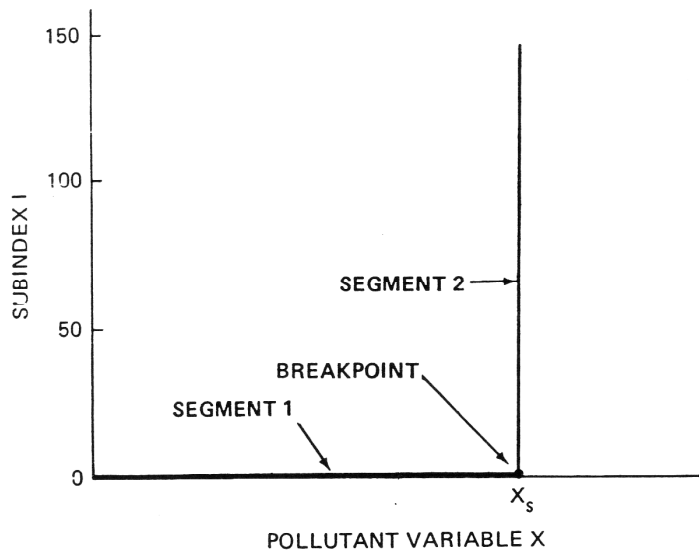
Indek linier mempunyai keuntungan yang mudah untuk menghitung dan mudah dimengerti. Konsep linier kemungkinan familiar karena sangat banyak variabel dalam hidup kita yang berhubungan dengan kelinieran. Misalnya: berat (konversi dari pound ke kilogram), temperatur (konversi dari Fahrenheit ke Celcius) dan gerak (hubungan kecepatan dengan gerak).



Gambar 2.3. Fungsi linier subindek dengan skala menurun

#### B. FUNGSI LINIER BERSEGMENT

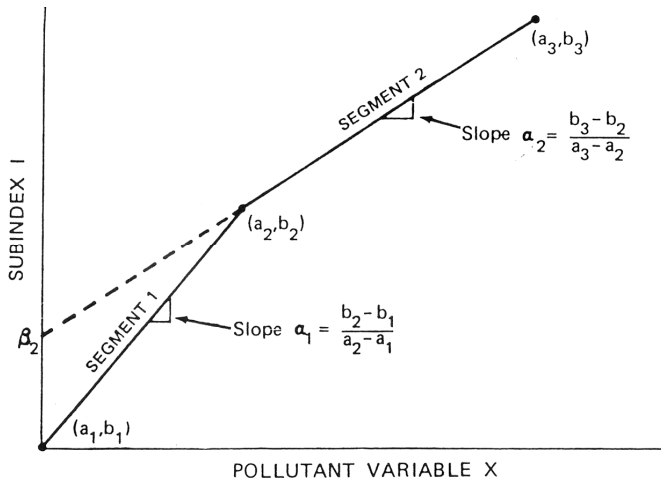
Seperti pada fungsi kerusakan, di bawah “threshold level” tidak ada efek yang terjadi, menghasilkan kenaikan berupa fungsi “tongkat hokey”. Hal yang sama pada situasi hipotesa bahwa tidak ada efek lingkungan yang merugikan pada konsentrasi di bawah batas baku mutu yang ditetapkan  $X=X_s$ , sementara efek yang sangat serius terjadi pada konsentrasi  $X>X_s$ , kemudian fungsi subindek dapat mengandung dua garis lurus yang berhubungan dengan sudut tegak lurus pada  $X=X_s$  seperti gambar berikut :



Gambar 2.4 Contoh fungsi linier bersegmen  
(Tongkat Hokey)

Pada kasus yang ekstrim, subindek akan nol untuk semua konsentrasi di bawah batas yang direkomendasikan tetapi angka subindek akan menjadi sangat besar dengan cepat begitu batas tersebut terlampaui. Karena fungsi tersebut mengandung dua segmen garis lurus yang berhubungan pada satu titik (breakpoint) maka disebut “fungsi linier bersegmen”

Secara umum fungsi linier bersegmen terdiri dari dua atau lebih garis lurus, biasanya dengan slope yang berbeda, bertemu pada titik tertentu. Jika koordinat pertemuan  $X$  dan  $I$  adalah  $(a_1, b_1)$ ,  $(a_2, b_2)$ , ...  $(a_j, b_j)$  seperti gambar berikut:



Gambar 2.5. Bentuk umum fungsi linier bersegmen

Setiap fungsi linier dengan segmen m dapat dirumuskan dengan persamaan :

$$I = \frac{b_{j+1} - b_j}{a_{j+1} - a_j} (X - a_j) + b_j$$

for  $a_j \leq X \leq a_{j+1}$  ..... (6)

$j = 1, 2, 3, \dots, m$

menggunakan persamaan 6 segmen pertama adalah:

$$I = \frac{b_2 - b_1}{a_2 - a_1} (X - a_1) + b_1$$

for  $a_1 \leq X \leq a_2$  ..... (7)

Hasil ini mudah di cek dengan mensubstitusikan  $X = a_1$  ke dalam persamaan 7, memberi hasil  $b_1$  :

$$I = \frac{b_2 - b_1}{a_2 - a_1} (a_1 - a_1) + b_1 = 0 + b_1 = b_1$$

..... (8)

Selanjutnya  $X = a_2$  disubstitusi ke dalam persamaan 7, memberi hasil  $b_2$  :

$$I = \frac{b_2 - b_1}{a_2 - a_1} (a_2 - a_1) + b_1 = b_2 - b_1 + b_1 = b_2 \quad \dots\dots\dots (9)$$

Persamaan untuk segmen kedua diperoleh dari persamaan 6 dengan cara yang sama :

$$I = \frac{b_3 - b_2}{a_3 - a_2} (X - a_2) + b_2$$

$$\text{for } a_2 \leq X \leq a_3 \quad \dots\dots\dots (10)$$

Persamaan 7 harus menghasilkan nilai yang sama untuk I pada akhir segmen pertama yang diperoleh dari persamaan 10 untuk segmen kedua.

Persamaan 6 dapat ditulis dalam bentuk yang sama dengan persamaan 4 :

$$I = \alpha_j X + \beta_j$$

$$\text{for } a_j \leq X \leq a_{j+1}$$

dimana

$$\alpha_j = \frac{b_{j+1} - b_j}{a_{j+1} - a_j}$$

$$\beta_j = \frac{b_j a_{j+1} - a_j b_{j+1}}{a_{j+1} - a_j} \quad \dots\dots\dots (11)$$

disini  $\alpha_j$  menunjukkan slope untuk setiap garis segmen, dan  $\beta_j$  menunjukkan intersep I jika garis diperpanjang seperti pada gambar 3.6. (garis putus-putus).

### 2.2.2. Latihan

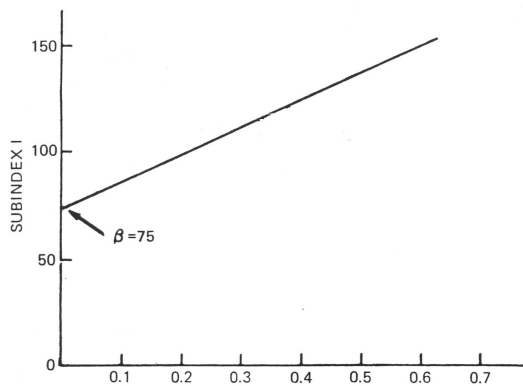
1. Plot grafik indek dengan persamaan  $I=10X$
2. Plot grafik indek dengan persamaan  $I=50X + 25$
3. Jelaskan dan beri contoh jenis-jenis fungsi linier persamaan indek lingkungan

## 2.3. PENUTUP

### 2.3.1. Tes Formatif

1. Suatu fungsi matematis indek yang terdiri dari satu garis lurus dengan slope tertentu disebut :
  - a. Fungsi linier

- b. Fungsi linier bersegmen
  - c. Fungsi linier sederhana
  - d. Fungsi linier berslope
2. Suatu fungsi linier yang terdiri dari dua atau lebih garis lurus, biasanya dengan slope yang berbeda, bertemu pada titik tertentu disebut
- a. Threshold Limiting Value
  - b. Fungsi linier
  - c. Fungsi linier bersegmen
  - d. Fungsi non linier
3. Indek linier mempunyai keuntungan:
- a. Sederhana dan praktis
  - b. Hasil stabil dan mudah dianalisa
  - c. Nilai dapat ditentukan dengan cepat dan tepat
  - d. mudah untuk menghitung dan mudah dimengerti
4. Sepeti pada fungsi kerusakan, di bawah "threshold level" tidak ada efek yang terjadi, menghasilkan kenaikan berupa fungsi:
- a. Linier
  - b. Linier Bersegmen
  - c. Tongkat hokey
  - d. Sub indek
5. esarnya nilai slope dari plot berikut adalah



- a. 50
- b. 100
- c. 75
- d. 125

### 2.3.2. Umpan Balik

Apabila semua jawaban anda benar berarti anda telah menguasai materi ini dengan baik dan apabila jawaban anda masih ada yang belum benar berarti anda masih kurang menguasai materi ini

### 2.3.3. Tindak Lanjut

Bagi anda yang telah menguasai materi ini anda dapat melanjutkan ke sub pokok bahasan selanjutnya, sedangkan anda yang masih kurang menguasai materi ini maka anda harus mempelajari kembali materi ini dan dipahami dengan contoh-contoh konkrit di sekitar anda

### 2.3.4. Rangkuman

Fungsi linier berupa fungsi linier dan fungsi linier bersegmen. Fungsi subindek yang paling sederhana adalah fungsi linier  $I = \alpha X$ . Pada kasus yang ekstrim, subindek akan nol untuk semua konsentrasi di bawah batas yang direkomendasikan tetapi angka subindek akan menjadi sangat besar dengan cepat begitu batas tersebut terlampaui. Karena fungsi tersebut mengandung dua segmen garis lurus yang berhubungan pada satu titik (breakpoint) maka disebut “fungsi linier bersegmen”

### 2.3.5. Kunci Jawaban Tes Formatif

1.A    2. C    3.D    4. C    5. D

## DAFTAR PUSTAKA

- D'Eridita', L, 1995. Soil and Soil Related Indicators and Indices for Environmental Impact Assessment, European Commission
- Helawell, J.M, 1986, Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management (Pollution Monitoring Series), Kluwer Academic Publishers
- Hoag, D.L., Ascough II, J.C., Keske-Handley, C.G., Koontz, L.R. 2005. “Decision making with environmental indices”, EOLSS Publishers Co Ltd
- Inhaber, H, 1976 “Environmental Indices (Environmental Science and Technology Series), John Wiley & Sons
- Ott, R.W, 1979, Environmental Indices: Theory and Practice, Ann Arbor Science Publishers

Pyhk, Yuri; Hyatt, D.R.; Lenz Roman J.L., 1999 "Environmental Indices:  
System Analysis Approach (Advances in Sustainable Development)  
EOLSS Publishers Co Ltd

**SENARAI**

Slope : Kemiringan

Segmen : Bagian

## **II.3. Sub Pokok Bahasan : Fungsi Non Linier Indek Lingkungan**

### **3.1. PENDAHULUAN**

#### **3.1.1. Deskripsi**

Sub pokok bahasan ini membahas tentang bentuk matematis fungsi non linier dan fungsi non linier bersegmen

#### **3.1.2. Relevansi**

Sub Pokok Bahasan ini merupakan dasar matematis bentuk fungsi non linier indek indek lingkungan

#### **3.1.3. Kompetensi**

##### **a. Standar Kompetensi**

Mahasiswa yang mempelajari sub pokok bahasan ini akan mampu memahami konsep fungsi non linier dalam struktur indek berupa fungsi non linier dan fungsi non linier bersegmen

##### **b. Kompetensi dasar**

Mahasiswa mampu :

1. Menjelaskan dan memplot fungsi non linier
2. Menjelaskan dan memplot fungsi non linier bersegmen
3. Menjelaskan dan memberikan contoh bentuk matematis fungsi non linier dan fungsi non linier bersegmen

### **3.2. PENYAJIAN**

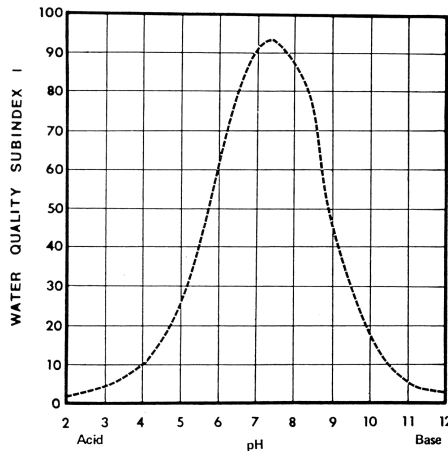
#### **3.2.1. Uraian dan Penjelasan**

##### **A. FUNGSI NON LINIER**

Meskipun fungsi-fungsi linier fleksibel tetapi tidak sesuai untuk beberapa situasi, dimana slope (laju perubahan) berubah sangat gradual dengan kenaikan tingkat polusi lingkungan. Dalam hal ini biasanya lebih tepat digunakan fungsi non linier. Ada dua tipe dasar fungsi-fungsi non linier yaitu 1) fungsi implisit, yang berupa plot pada grafik tetapi tidak ada persamaannya. 2) fungsi eksplisit, yang berupa persamaan matematis.

Contoh fungsi implisit adalah kurva subindek pH yang berbentuk lonceng, tetapi tidak ada persamaan matematis yang

berhubungan meskipun persamaan eksplisit mungkin dapat dikembangkan untuk memperkirakan kurvanya. Untuk mengukur pH, pengguna indek membaca nilai subindek dari grafik yang digambarkan seperti berikut :



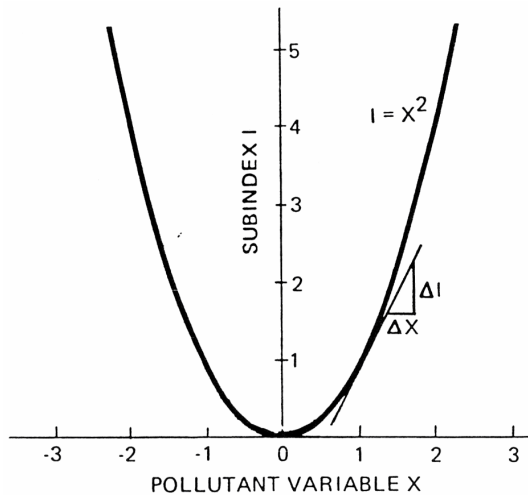
Gambar 3.1. Contoh Fungsi Implisit Subindek Nonlinier pH dari Indek Kualitas Air

Dalam fungsi-fungsi nonlinier, kurva berdasarkan pada persamaan matematis. Hal umum yang penting pada fungsi nonlinier adalah variabel polutan yang naik sampai ke pangkat lebih dari satu. Fungsi subindek tersebut :

$$I = X^c \dots\dots\dots (12)$$

dimana  $c \neq 1$

Jika  $c = 2$  akan dihasilkan parabola  $I=X^2$ , dengan kurva yang naik dengan cepat sesuai slopenya seperti gambar berikut :

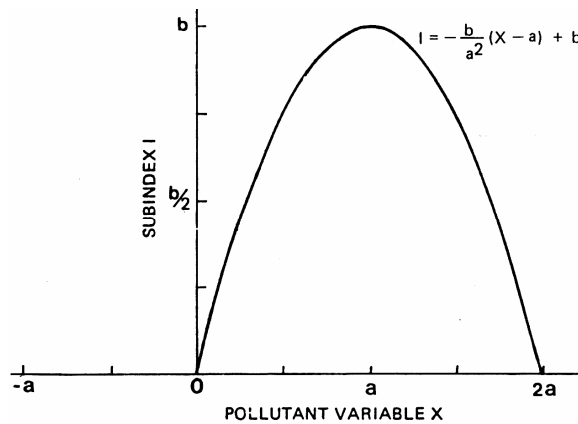


Gambar 3. 2. Contoh Fungsi Eksplisit Subindek Nonlinear, Parabola  $I=X^2$

Pada bentuk parabola yang lebih umum seperti gambar di bawah dimana  $I=b$ , a maksimum pada saat  $X=a$  dan  $I=0$  pada saat  $X=0$  atau  $X=2a$  :

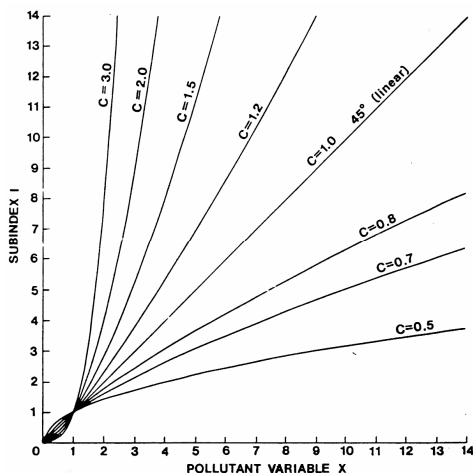
$$I = -\frac{b}{a^2} (X - a)^2 + b$$

for  $0 \leq X \leq 2a$  ..... (13)



Gambar 3.3. Contoh Fungsi Parabolik Subindek Berdasarkan Kualitas Air

Untuk variabel polutan X pada persamaan 12 dapat naik sesuai pangkatnya selain 2 sehingga menghasilkan variasi bentuk nonlinier :



Gambar 3.4. Plot fungsi subindek  $I=X^c$  dengan nilai c yang berbeda

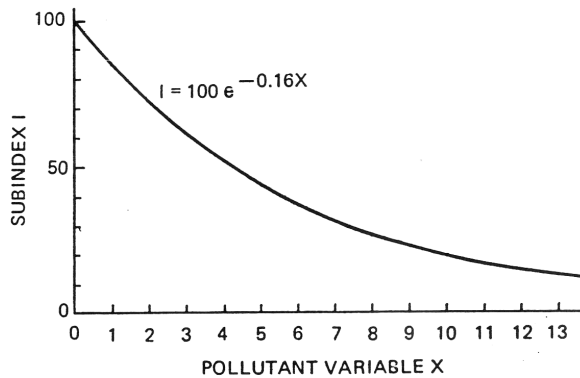
Fungsi nonlinier yang lain adalah fungsi eksponensial dimana variabel polutan X adalah eksponen dari konstanta :

$$I = c^x \dots\dots\dots (14)$$

Biasanya konstanta yang dipilih selain 10 adalah e ( $e=2,71828128\dots$ ). Jika a dan b adalah konstan, bentuk umum fungsi eksponensial :

$$I = ae^{bx} \dots\dots\dots (15)$$

Kurva eksponensial berubah sesuai proporsi konstanta, sebagai contoh pada gambar di bawah,  $I=100$  untuk  $X=0$ , untuk  $X=1$ ,  $I=85,2$  (85,2% dari 100)



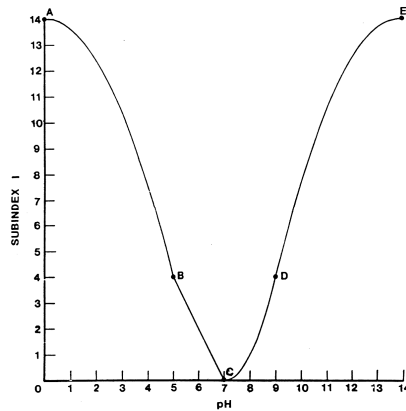
Gambar 3.5. Contoh Fungsi subindek eksponensial  $I = ae^{bx}$  untuk  $a = 100$  dan  $b = -0,16$

### B. FUNGSI NONLINIER BERSEGMENT

Meskipun persamaan nonlinier yang kompleks dapat digunakan untuk kurva dengan variasi bentuk yang berbeda, beberapa persamaan menjadi terlalu sulit. Pendekatan yang lebih fleksibel adalah membagi kurva menjadi beberapa bagian dan tiap bagian berupa persamaan nonlinier yang menghasilkan “fungsi nonlinier bersegmen” yang digunakan pada sejumlah indeks kualitas air. Seperti fungsi linier bersegmen, garis segmen juga bertemu pada titik potong tertentu.

Fungsi nonlinier bersegmen yang digunakan untuk subindek pH dalam indeks kualitas air yang mengandung empat segmen :

Segmen 1(AB)	$0 \leq X \leq 5$	$I = -0,4X^2 + 14$
Segmen 2(BC)	$5 \leq X \leq 7$	$I = -2X + 14$
Segmen 3(CD)	$7 \leq X \leq 9$	$I = X^2 - 14X + 49$
Segmen 4(DE)	$9 \leq X \leq 14$	$I = -0,4X^2 + 11,2X - 64,4$



Gambar 3.6. Contoh Fungsi Nonlinier Bersegmen pada pH untuk Indeks Kualitas Air

### 3.2.2. Latihan

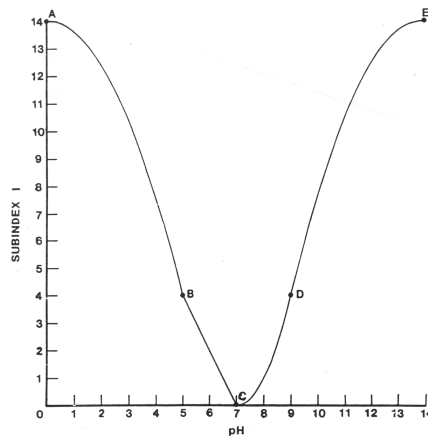
1. Jelaskan apa saja fungsi indeks nonlinier
2. Jelaskan dan beri contoh kasus fungsi indeks non linier

### 3.3. PENUTUP

#### 3.3.1. Tes Formatif

1. Suatu plot pada grafik indeks non linier tetapi tidak ada persamaannya disebut:
  - a. Fungsi non linier
  - b. Fungsi non linier bersegmen
  - c. Fungsi non linier implisit
  - d. Fungsi non linier eksplisit
2. Suatu fungsi linier yang tidak tepat untuk digunakan sehingga lebih tepat digunakan fungsi non linier bila :
  - a. Laju perubahan sangat gradual dengan kenaikan tingkat polusi lingkungan
  - b. Nilai indeks naik sejalan dengan kenaikan tingkat polusi lingkungan
  - c. Nilai indeks berubah sesuai dengan nilai polusi yang terjadi
  - d. Fungsi linier tidak dapat dihitung atau ditentukan nilainya
3. Indeks non linier mempunyai keuntungan:
  - a. Sederhana dan praktis
  - b. Hasil stabil dan mudah dianalisa
  - c. Fleksibel untuk berbagai kondisi

- d. mudah untuk menghitung dan mudah dimengerti
4. Meskipun persamaan nonlinier yang kompleks dapat digunakan untuk kurva dengan variasi bentuk yang berbeda, beberapa persamaan menjadi terlalu sulit sehingga lebih tepat digunakan persamaan:
- Linier
  - Linier Bersegmen
  - Non linier
  - Non linier bersegmen
5. Fungsi persamaan non linier untuk segmen A-B dari plot berikut adalah:



- $I = -0,4X^2 + 11,2X - 64,4$
- $I = -0,4X^2 + 14$
- $I = X^2 - 14X + 49$
- $I = -2X + 14$

### 3.3.2. Umpan Balik

Apabila semua jawaban anda benar berarti anda telah menguasai materi ini dengan baik dan apabila jawaban anda masih ada yang belum benar berarti anda masih kurang menguasai materi ini

### 3.3.3. Tindak Lanjut

Bagi anda yang telah menguasai materi ini anda dapat melanjutkan ke sub poko bahasan selanjutnya, sedangkan anda yang masih kurang menguasai materi ini maka anda harus

mempelajari kembali materi ini dan dipahami dengan contoh-contoh konkrit di sekitar anda

### 3.3.4. Rangkuman

Fungsi linier berupa fungsi linier dan fungsi linier bersegmen. Fungsi subindek yang paling sederhana adalah fungsi linier  $I = \alpha X$ . Pada kasus yang ekstrim, subindek akan nol untuk semua konsentrasi di bawah batas yang direkomendasikan tetapi angka subindek akan menjadi sangat besar dengan cepat begitu batas tersebut terlampaui. Karena fungsi tersebut mengandung dua segmen garis lurus yang berhubungan pada satu titik (breakpoint) maka disebut “fungsi linier bersegmen”

### 3.3.5. Kunci Jawaban Tes Formatif

1.C      2. A      3.C      4. D      5. B

### DAFTAR PUSTAKA

- D'Eridita', L, 1995. Soil and Soil Related Indicators and Indices for Environmental Impact Assessment, European Commission
- Helawell, J.M, 1986, Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management (Pollution Monitoring Series), Kluwer Academic Publishers
- Hoag, D.L., Ascough II, J.C., Keske-Handley, C.G., Koontz, L.R. 2005. “Decision making with environmental indices”, EOLSS Publishers Co Ltd
- Inhaber, H, 1976 “Environmental Indices (Environmental Science and Technology Series), John Wiley & Sons
- Ott, R.W, 1979, Environmental Indices: Theory and Practice, Ann Arbor Science Publishers
- Pyhk, Yuri; Hyatt, D.R.; Lenz Roman J.L., 1999 “Environmental Indices: System Analysis Approach (Advances in Sustainable Development) EOLSS Publishers Co Ltd

### SENARAI

Implisit : Penjelasan terhadap sesuatu yang bersifat tersirat

## **II.4. Sub Pokok Bahasan : Penggabungan Subindek**

### **4.1. PENDAHULUAN**

#### **4.1.1. Deskripsi**

Sub pokok bahasan ini membahas tentang berbagai metode penggabungan subindek berupa berbagai metode dengan penjumlahan dan berbagai metode perkalian

#### **4.1.2. Relevansi**

Sub Pokok Bahasan ini merupakan dasar untuk memahami metode penggabungan subindek lingkungan menjadi indek lingkungan

#### **4.1.3. Kompetensi**

##### **a. Standar Kompetensi**

Mahasiswa yang mempelajari sub pokok bahasan ini akan mampu memahami berbagai metode penggabungan subindek lingkungan sebagai dasar penyusunan indek lingkungan

##### **b. Kompetensi dasar**

Mahasiswa mampu :

1. Memahami dan memberikan contoh metode penjumlahan subindek
2. Memahami dan memberikan contoh metode perkalian subindek

### **4.2. PENYAJIAN**

#### **4.2.1. Uraian dan Penjelasan**

Proses penggabungan adalah salah satu langkah yang paling penting dalam perhitungan setiap indek lingkungan. Disini penyederhanaan (reduksi informasi) terjadi dan distorsi dapat terjadi.

##### **A. Bentuk-Bentuk Penjumlahan**

Fungsi-fungsi penggabungan yang paling sederhana adalah penjumlahan. Sering disebut sebagai penambahan subindek tanpa

pemberatan, dimana tidak ada subindek yang naik dengan pangkat lebih dari satu atau disebut “linier sum”:

$$I = \sum_{i=1}^n I_i \quad \dots\dots\dots (16)$$

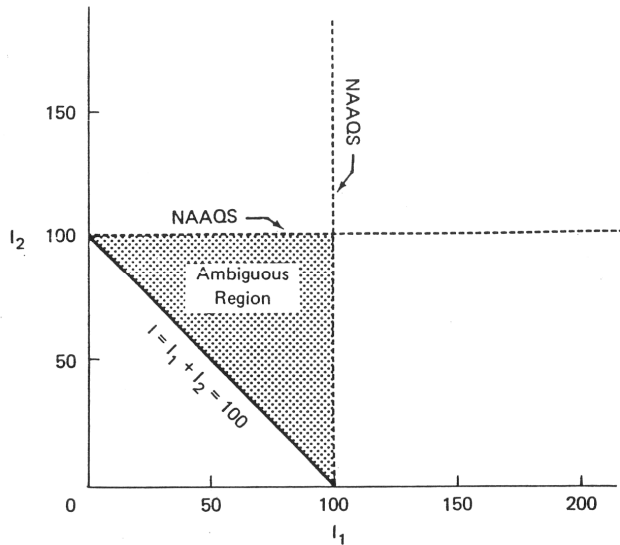
$I_i$  = subindek untuk variabel polutan I

n = jumlah variabel polutan

Penjumlahan linier indek polusi udara dibentuk hanya dari dua subindek

$$I = I_1 + I_2 \quad \dots\dots\dots (17)$$

Dalam indek yang sederhana ini diasumsikan  $I_1$  dan  $I_2$  dimana  $I_1=0$  dan  $I_2=0$  menunjukkan konsentrasi polutan nol untuk variabel polutan  $X_1$  dan  $X_2$ , dan  $I_1 \geq 100$  dan  $I_2 \geq 100$  menunjukkan konsentrasi di atas baku mutu. Jika subindek yang pada persamaan 17 melampaui 100 maka semua indek akan melampaui 100. Berdasarkan hal ini jika  $I_1 \geq 100$  atau  $I_2 \geq 100$  sehingga  $I \geq 100$ . Sistem penggabungan subindek dalam bentuk yang sesuai jika selisih antar subindek besar (Polusi udara yang sangat berbahaya), Bagaimanapun kebanyakan pengguna akan mengharapkan I melebihi 100 dimaksudkan bahwa baku mutu telah terlampaui paling tidak oleh satu subindek dan sebenarnya memungkinkan terjadinya I yang melampaui 100 tanpa melebihi baku mutu. Sebagai conoth, jika tingkat polusi sedang terjadi pada kedua variabel polutan  $I_1=50$  dan  $I_2=50$  lalu  $I=100$  ,Hal yang sama jika  $I_1=60$  dan  $I_2=70$  lalu  $I=130$ . Indek menunjukkan bahwa baku mutu terlampaui tetapi sebenarnya tidak terlampaui sehingga menghasilkan pembacaan yang mempunyai dua arti atau disebut “ambiguous”. Variasi kombinasi lain nilai subindek ( $I_1, I_2$ ) yang menghasilkan dua arti untuk  $I= 100$  contohnya (5,95), (20,80), (35,65), (60,40), (75,25), (99,1). Semua kombinasi berlaku untuk persamaan  $I_2=100-I_1$ , fungsi ini dapt digambarkan :



Gambar 4.1. Plot Penjumlahan Linier  $I_1 + I_2 = 100$  yang Menunjukkan “Daerah Dua Arti (Ambiguous Region)”

Untuk mengeliminasi terjadinya daerah dua arti dapat dilakukan dengan memberikan koefisien atau “pemberatan” dengan memodifikasi fungsi penggabungan. Pemberatan penjumlahan linier bentuk umumnya :

$$I = \sum_{i=1}^n w_i I_i \dots\dots\dots (18)$$

dimana

$$\sum_{i=1}^n w_i I_i = 1$$

Untuk kasus dua variabel :

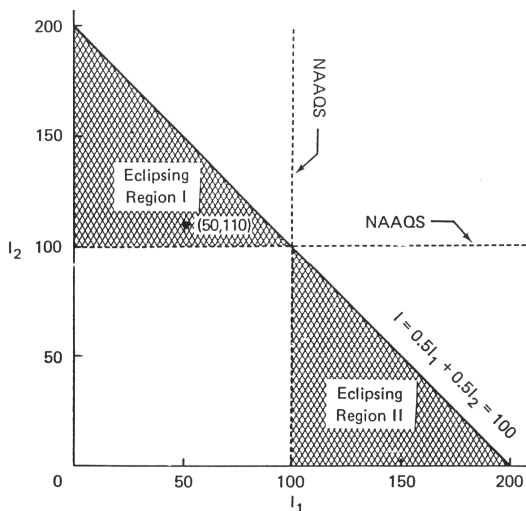
$$I = w_1 I_1 + w_2 I_2 \dots\dots\dots (19)$$

$$w_1 + w_2 = 1$$

Hasil pemberatan  $w_1$  dan  $w_2$ , dengan asumsi  $w_1 = w_2 = 0,5$  atau persamaan

$$I = 0,5 I_1 + 0,5 I_2$$

Dapat digambarkan :



Gambar 4.2. Plot Penjumlahan Linier dengan Pemberatan  $0,5 I_1 + 0,5 I_2 = 100$

Meskipun dengan pemberatan penjumlahan linier tidak terjadi daerah dua arti tetapi terdapat masalah yang lebih serius yang disebut “eclipsing” yang menggambarkan daerah tidak terestimasi (underestimate). Eclipsing terjadi saat kualitas lingkungan sangat rendah.

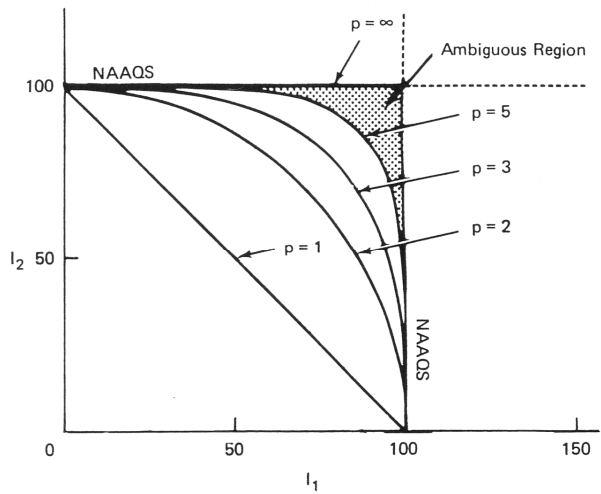
**B. Root –sum-power**

Untuk mengatasi daerah dua arti yang lain adalah dengan akar-jumlah-pangkat yang merupakan penggabungan fungsi non linier dengan bentuk :

$$I = \left[ \sum_{i=1}^n I_i^p \right]^{1/p} \dots\dots\dots (20)$$

untuk kasus dua variabel

$$I = (I_1^p + I_2^p)^{1/p} \dots\dots\dots (21)$$

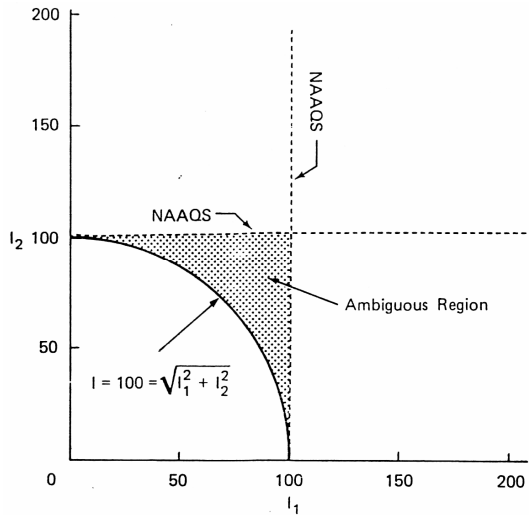


Gambar 4.3. Plot dari  $I = (I_1^p + I_2^p)^{1/p}$  untuk nilai P yang berbeda

Jika  $p = 2$  fungsi penggabungan disebut akar-jumlah-kuadrat :

$$I = \sqrt{(I_1)^2 + (I_2)^2} \dots\dots\dots (21a)$$

dengan plot :



Gambar 4.4. Plot dari fungsi penggabungan akar-jumlah-kuadrat ( $I_1, I_2$ )

Untuk membatasi kasus dimana p mendekati tak terhingga, akar-jumlah-pangkat mempunyai pola untuk penggabungan subindek. Fungsi yang lebih sederhana dengan pola yang sama dengan maksimum operator:

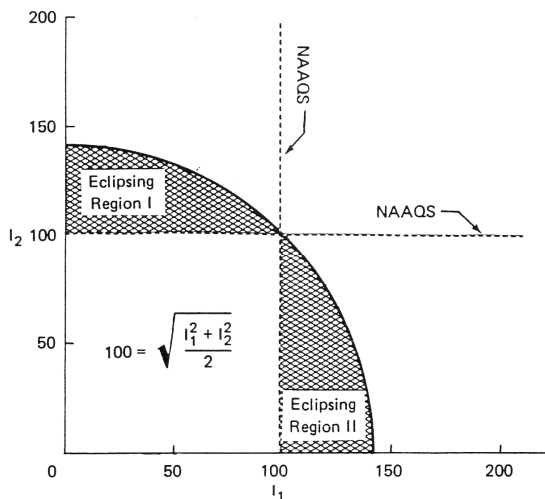
$$\lim_{p \rightarrow \infty} \left\{ \left[ I_1^p + I_2^p \right]^{1/p} \right\} = \max \{ I_1, I_2 \} \dots\dots\dots (22)$$

**C. Root-Mean-Square**

Contoh lain bentuk penjumlahan adalah akar-rata-rata-kuadrat. Penggabungan ini sama dengan akar-jumlah-kuadrat, kecuali rata-rata aritmatik kuadrat subindek dihitung sebelum akar kuadrat. Untuk kasus dua variabel polutan :

$$I = \sqrt{(1/2)(I_1^2 + I_2^2)} \dots\dots\dots (23)$$

Plot fungsi ini berupa lingkungan dengan jari-jari  $\sqrt{2}I$ , sebagai contoh jika  $I_1=50$  dan  $I_2=120$  lalu  $I = 91,2$  dan yang melampaui baku mutu untuk variabel polutan  $X_2$  adalah eclip:



Gambar 4.5. Plot penggabungan fungsi akar-rata-rata-kuadrat (I1,I2)

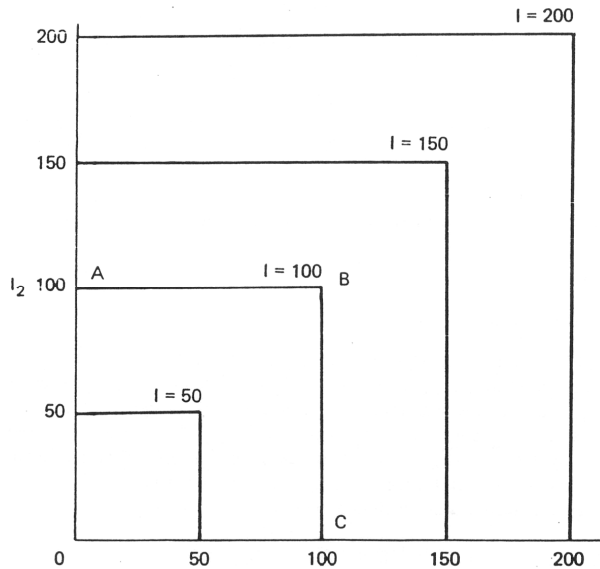
**D. Maksimum Operator**

Bentuk umum maksimum operator adalah:

$$I = \max \{I_1, I_2, \dots, I_i, \dots, I_n\} \dots\dots\dots (24)$$

Dalam maksimum operator diambil nilai yang terbesar dari semua subindek dan  $I=0$  jika dan hanya jika  $I_i=0$  untuk semua  $i$ .

Seperti pada fungsi-fungsi penggabungan yang lain pola maksimum operator untuk dua subindek  $I = \max \{I_1, I_2\}$  dengan plot :



Gambar 4.6. Plot dari  $I = \max \{I_1, I_2\}$  untuk nilai  $I$  yang berbeda

Sebagai contoh dalam penggunaan maksimum operator bila ada dua kasus indek polusi udara pada dua hari yang berbeda yaitu hari pertama, subindek :  $I_1 = 98, I_2=110, I_3=80,$  dan  $I_4=90$ . Hari kedua sub indek :  $I_1 = 0, I_2=110, I_3=5,$  dan  $I_4=0$ ., maksimum operator akan memberikan nilai yang sama yaitu  $I=110$  untuk kedua kasus:

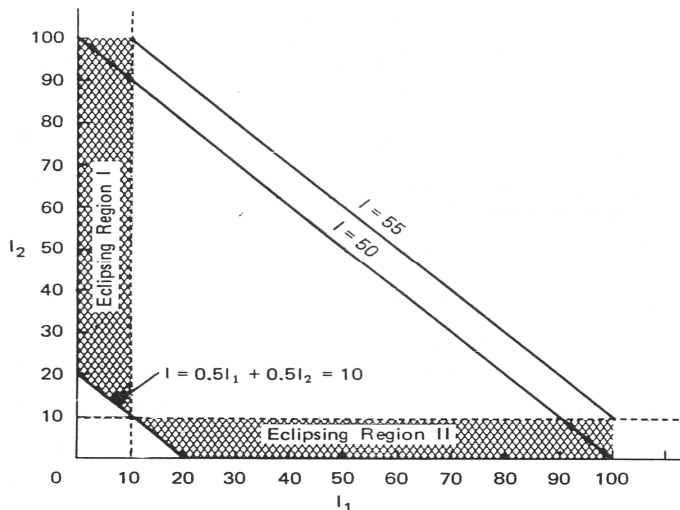
$$I = \max \{98, 110, 80, 90\} = 110$$

$$I = \max \{0, 110, 5, 0\} = 110$$

Beberapa peneliti akan skeptis pada hasil ini karena mereka akan merasa secara umum angka yang lebih besar pada kasus pertama menunjukkan polusi udara yang lebih berbahaya daripada kasus kedua. Catatan bahwa pada fungsi penggabungan seperti rata-rata aritmatik menghasilkan kasus pertama  $I=94,5$  dan kasus kedua  $I=57,5$ . Gradasi ini tidak masalah. Hal yang lebih penting untuk kualitas udara adalah range tiap variabel sehingga maksimum operator tidak akan sesuai dan rata-rata aritmatik yang mungkin lebih baik.

**E. Bentuk-Bentuk Perkalian**

Pada skala turun  $I = 0,5I_1 + 0,5I_2$  menunjukkan beberap garis untuk  $I > 10$  nilai terbesar untuk  $I$ , area yang melalui titik  $I_1=10$  dan  $I_2= 100$  menghasilkan  $I = (0,5)(10) + (0,5)(100) = 55$ . Berdasarkan contoh ini terjadi “eclipsing” dengan luas relatif terhadap nilai  $10 < I < 55$ . Hasil ini menunjukkan masalah eclipsing yang serius pada indeks-indeks skala turun dengan bentuk penjumlahan (seperti penjumlahan linier dengan pemberatan). Secara umum bentuk penjumlahan kurang baik untuk penggabungan pada subindeks skala turun :



Gambar 4.7. Plot  $I = 0,5I_1 + 0,5I_2$  Pada Skala Turun Yang Menunjukkan Wilayah Eclipsing untuk  $I_1 \leq 10$  atau  $I_2 \leq 10$  Sementara  $I > 10$

Untuk mengatasi masalah ini dilakukan dengan bentuk perkalian yang paling umum fungsi penggabungan perkalian adalah hasil pemberatan yang mempunyai bentuk umum:

$$I = \prod_{i=1}^n I_i^{w_i} \dots\dots\dots (25)$$

$$\text{dimana : } \sum_{i=1}^n w_i = 1 \dots\dots\dots (25a)$$

Fungsi penggabungan ini pada semua bentuk perkalian, indeks adalah nol jika ada satu subindek yang nol.

$$I = \prod_{i=1}^n I_i^{w_i} (0)^{w_i} = 0 \dots\dots\dots (26)$$

Karakteristik ini mengeliminasi masalah eclipsing, karena jika satu subindek berada di kualitas lingkungan yang jelek, maka semua indeks akan berkualitas lingkungan jelek pula. Sebaliknya I=0 jika dan hanya jika satu subindek adalah nol dan karakteristik ini mengeliminasi masalah dua arti.

Jika nilai maksimum untuk setiap subindek pada persamaan 25 adalah 100, nilai maksimum akan 100. Hal ini dapat dijelaskan, jika diasumsikan bahwa setiap subindek mempunyai nilai konstanta maksimum  $I_{\max}$ ,  $I_i = I_{\max}$  untuk semua I, persamaan 25 :

$$I = \prod_{i=1}^n [I_{\max}]^{w_i} \dots\dots\dots (27)$$

logaritma pada kedua sisi, persamaan 27 menjadi :

$$\log I = \sum_{i=1}^n w_i \log I_{\max} = \log I_{\max} \sum_{i=1}^n w_i \dots\dots\dots (28)$$

substitusi persamaan 25a ke persamaan 27 :

$$\log I = (\log I_{\max}) (1) = \log I_{\max} \dots\dots\dots (29)$$

$$\text{Dengan antilogaritma : } I = I_{\max} \dots\dots\dots (30)$$

Persamaan 26 dan 30 terlihat bahwa jika range tiap subindek adalah 0 sampai 100 lalu range untuk semua indeks dari I=0 sampai I=100.

Untuk kasus sederhana yang terdiri dua subindek :

$$I = I_1^{w_1} I_2^{w_2} \dots\dots\dots (31)$$

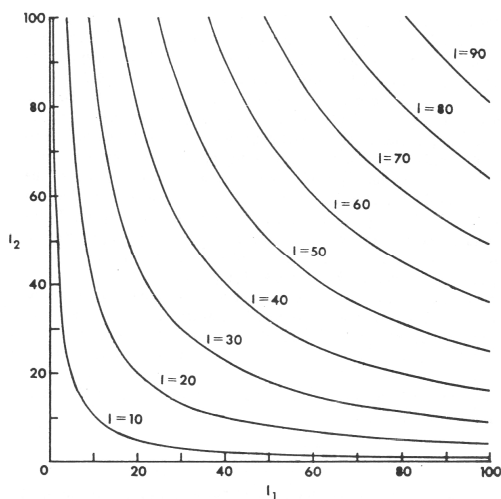
dimana :  $w_1 + w_2 = 1$   
 dengan pemberatan  $w_1 = w_2 = 0,5$

$$I = I_1^{0,5} I_2^{0,5} \dots\dots\dots (32)$$

Dengan fungsi penggabungan untuk  $I_2$  sebagai fungsi I dan  $I_1$  :

$$I_2 = \frac{I^2}{I_1} \dots\dots\dots (33)$$

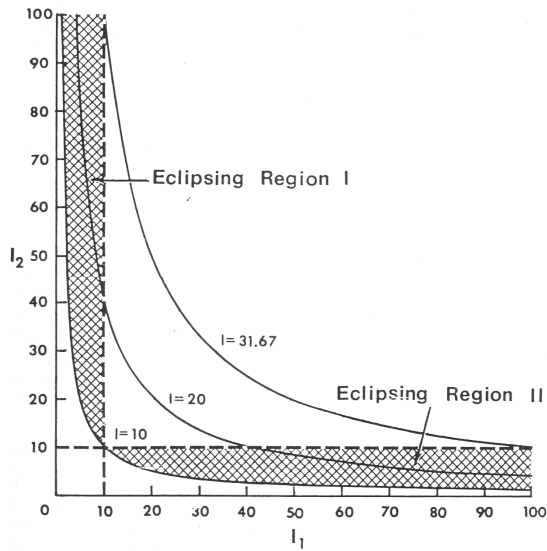
Persamaan ini jika diplot sebagai berikut :



Gambar 4.8. Plot Fungsi Penggabungan Perkalian  $I = I_1^{0,5} I_2^{0,5}$  untuk Nilai I Berbeda

Seperti pada gambar 2.19 wilayah dengan kualitas lingkungan rendah (garis putus-putus)  $I_1 = 10$  dan  $I_2 = 10$ , eclipsing terjadi jika  $I \leq 10$  untuk setiap  $i$  dan  $I > 10$ . Untuk pemberatan pada persamaan 33, dua daerah eclipsing terbentuk. Satu eclipsing terbentuk oleh kurva  $I = 10$  dan garis  $I_1 = 10$ , dan eclipsing yang lain terbentuk oleh kurva  $I = 10$  dan garis  $I_2 = 10$ . Nilai terbesar untuk  $I$  dimana eclipsing

dapat terjadi adalah untuk  $I = 10\sqrt{10} = 31,62$ , dimana kurva melalui titik (10,100) dan (100,10):



Gambar 4.9. Plot hasil pemberatan  $I = 10, 20, 31,62$  yang Menunjukkan daerah Eclipsing  $I_1 \leq 10$  atau  $I_2 \leq 10$  tetapi  $I > 10$ .

Versi umum hasil pemberatan adalah fungsi penggabungan geometrik

$$I = \left[ \prod_{i=1}^n \frac{g_i}{I_i} \right]^{1/\gamma} \dots\dots\dots (34)$$

$$\gamma = \sum_{i=1}^n g_i$$

dimana

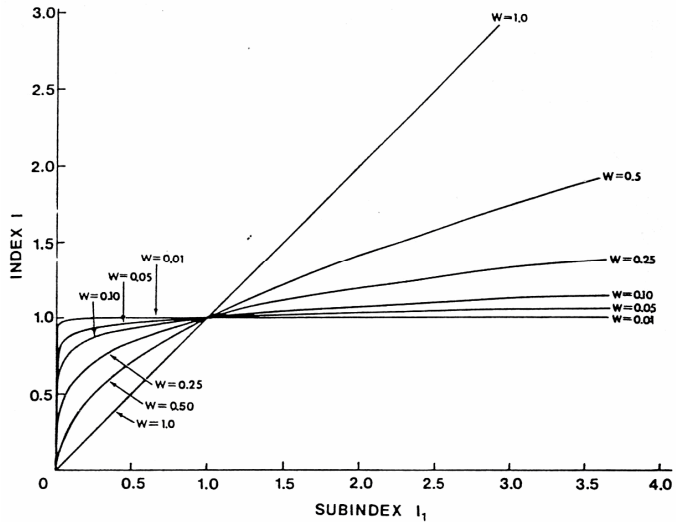
Pada persamaan tersebut jika setiap subindek naik  $1/\gamma$  persamaannya menjadi

$$w_i = \frac{g_i}{\gamma} = \frac{g_i}{\sum_{i=1}^n g_i} \dots\dots\dots (35)$$

Jumlah dari pemberatan dalam unit :

$$\sum_{i=1}^n w_i = \frac{\sum_{i=1}^n \xi_i}{\sum_{i=1}^n \xi_i} = 1 \quad \dots\dots\dots (36)$$

Sebenarnya pemberatan menjadi lebih kecil, kurva berubah dari bentuk gradual ke bentuk curam. Karakteristik nonlinier tersebut bila diplot I dengan  $I_1$  menggunakan persamaan  $I=I_1^w$  :



Gambar 4.10. Plot Fungsi Penggabungan  $I=I_1^w$  yang Menunjukkan Ketajaman Kurva yang Mendekati Nol

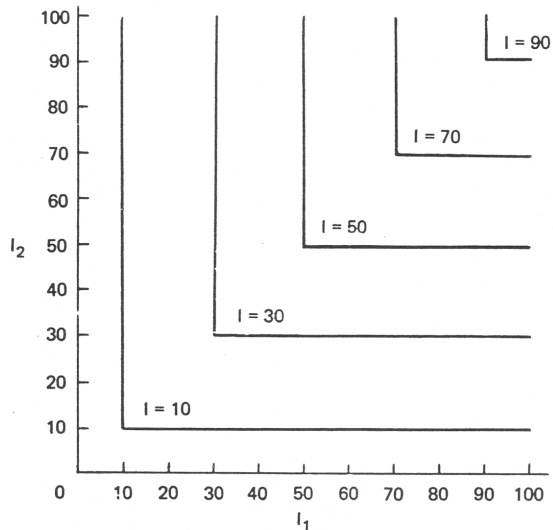
**F. Minimum Operator**

Minimum operator saat diterapkan pada subindek skala menurun, bentuk dan performanya sama dengan skala naik maksimum operator dimana :

$$I = \min \{I_1, I_2, \dots, I_i, \dots, I_n\}$$

untuk kasus dua subindek skala menurun:

$$I = \max \{I_1, I_2\}$$



Gambar 4.11. Plot  $I = \min I_1, I_2$  dengan nilai  $I$  Berbeda

Seperti pada hasil pembertan, fungsi-fungsi minimum operator tidak pernah menyentuh dua aksis, sehingga tidak terjadi eclipsing dan daerah dua arti. Konsekuensinya minimum operator menjadi penggabungan yang baik untuk subindek skala turun.

#### 4.2.2. Latihan

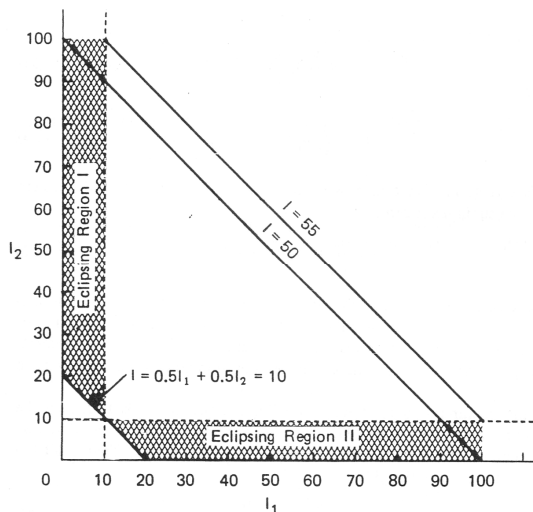
1. Jelaskan dan berikan contoh metode penggabungan sub indek dengan penjumlahan
2. Jelaskan dan berikan contoh metode penggabungan sub indek dengan perkalian subindek lingkungan
3. Jelaskan dan berikan contoh metode untuk mengeliminasi daerah dua arti akibat dari penggabungan sub indek

### 4.3. PENUTUP

#### 4.3.1. Tes Formatif

1. Fungsi-fungsi penggabungan yang berupa penjumlahan sering disebut sebagai:
  - a. Penjumlahan subindek sederhana
  - b. penambahan subindek tanpa pemberatan
  - c. penggabungan sub indek sederhana
  - d. penggabungan subindek tanpa pemberatan

2. Penambahan subindek tanpa pemberatan, dimana tidak ada subindek yang naik dengan pangkat lebih dari satu disebut :
  - a. Penjumlahan linier
  - b. Penjumlahan Non linier
  - c. Perkalian linier
  - d. Perkalian Non linier
3. Eclipsing terjadi saat kualitas lingkungan :
  - a. Sangat baik
  - b. Sedang
  - c. Sangat rendah
  - d. Melampaui baku mutu
4. Secara umum bentuk penjumlahan kurang baik untuk penggabungan pada subindek skala turun, hal ini disebabkan:
  - a. Adanya area ambiguous
  - b. Adanya area yang tidak jelas
  - c. Adanya area eclipsing
  - d. Adanya area dobel prediksi
5. Berdasarkan plot berikut, Nilai terbesar untuk I dimana eclipsing dapat terjadi adalah untuk  $I =$



- a.  $10\sqrt{2}$
- b.  $10\sqrt{10}$
- c.  $10\sqrt{20}$
- d.  $10\sqrt{5}$

#### **4.3.2. Umpan Balik**

Apabila semua jawaban anda benar berarti anda telah menguasai materi ini dengan baik dan apabila jawaban anda masih ada yang belum benar berarti anda masih kurang menguasai materi ini

#### **4.3.3. Tindak Lanjut**

Bagi anda yang telah menguasai materi ini anda dapat melanjutkan ke sub pokok bahasan selanjutnya, sedangkan anda yang masih kurang menguasai materi ini maka anda harus mempelajari kembali materi ini dan dipahami dengan contoh-contoh konkrit di sekitar anda

#### **4.3.4. Rangkuman**

Proses penggabungan adalah salah satu langkah yang paling penting dalam perhitungan setiap indeks lingkungan. Disini penyederhanaan (reduksi informasi) terjadi dan distorsi dapat terjadi.

#### **4.3.5. Kunci Jawaban Tes Formatif**

1.D      2. A      3.C      4. C      5. B

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- D'Eridita', L, 1995. Soil and Soil Related Indicators and Indices for Environmental Impact Assessment, European Commission
- Helawell, J.M, 1986, Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management (Pollution Monitoring Series), Kluwer Academic Publishers
- Hoag, D.L., Ascough II, J.C., Keske-Handley, C.G., Koontz, L.R. 2005. "Decision making with environmental indices", EOLSS Publishers Co Ltd
- Inhaber, H, 1976 "Environmental Indices (Environmental Science and Technology Series), John Wiley & Sons
- Ott, R.W, 1979, Environmental Indices: Theory and Practice, Ann Arbor Science Publishers
- Pyhk, Yuri; Hyatt, D.R.; Lenz Roman J.L., 1999 "Environmental Indices: System Analysis Approach (Advances in Sustainable Development) EOLSS Publishers Co Ltd

**SENARAI**

Pemberatan : Faktor pengali terhadap parameter sub indeks

NAAQS : National Ambient Air Quality Standards merupakan standar baku mutu kualitas udara ambien pemerintah Amerika Serikat

# III

## POKOK BAHASAN : INDEK KUALITAS AIR (IKA)

### I.1. Sub Pokok Bahasan : Indek Kualitas Air (IKA)

#### 1.1. Pendahuluan

##### 1.1.1. Deskripsi

Sub pokok bahasan ini membahas tentang Metode perhitungan indek kualitas air

##### 1.1.2. Relevansi

Sub Pokok Bahasan ini merupakan teori dasar indek kualitas air dan metode perhitungannya

##### 1.1.3. Kompetensi

###### a. Standar Kompetensi

Mahasiswa yang mempelajari sub pokok bahasan ini akan mampu memahami konsep dasar untuk menghitung besarnya suatu indek kualitas air berdasarkan data yang ada

###### b. Kompetensi dasar

Mahasiswa mampu :

1. Menjelaskan indek kualitas air secara teoritis
2. Menjelaskan dan memberikan contoh perhitungan indek kualitas air

#### 1.2. PENYAJIAN

##### 1.2.1. Uraian dan Penjelasan

Maksud pemantauan kualitas air terhadap badan air adalah sebagai bahan kajian guna mengevaluasi program pengendalian kualitas lingkungan pada umumnya dan kualitas perairan pada khususnya. Interpretasi data kualitas air tersebut seringkali sangat

komplek. Hal ini dikarenakan variabel yang diukur terlalu banyak, peruntukan kawasan perairan untuk berbagai peruntukkan, serta standar ambien yang ditetapkan pada suatu wilayah tidak cocok untuk katagori banyak penggunaan.

Data kualitas air diperoleh dari data sekunder hasil pengamatan maupun hasil studi yang pernah dilakukan oleh beberapa instansi. Meskipun sudah beberapa kali badan air diamati, seringkali teknik pengamatan terhadap sampel yang dikumpulkan tidak berada pada lokasi yang titik yang sama sehingga untuk menampilkan secara statistik banyak hambatan.

#### A. Perumusan Indek Kualitas Air (IKA)

Pada dasarnya indek kualitas air adalah merupakan petunjuk atau informasi guna menterjemahkan tingkat pencemaran yang didasarkan hubungan kuantitas tiap parameter air. Adanya penurunan kualitas air permukaan dapat diketahui dari informasi IKA. Disamping itu, IKA juga merupakan perangkat analisis untuk menyederhanakan informasi sehingga dalam menyajikan kualitas suatu badan air cukup disajikan dalam nilai tunggal, sehingga dapat dibandingkan antara kualitas perairan yang satu dengan yang lain.

Penilaian IKA didasarkan atas pengaruh tiap parameter bahan pencemar terhadap peruntukkan kualitas air. Langkah awal yang ditempuh dalam membuat perumusan IKA adalah meterjemahkan pengaruh parameter pencemar dalam bentuk fungsi subindek. Angka Indek Kualitas Air disajikan antara 0 hingga 100, nilai menyatakan kualitas badan air yang paling jelek, sedangkan nilai 100 nilai yang paling bagus, dimana IKA merupakan penjumlahan antara perkalian parameter yang ditinjau dengan bobot setiap parameter.

Mempertimbangkan kondisi data kualitas air dari berbagai pengamatan yang tidak seragam, indek kualita air yang diinformasikan juga sangat terbatas. Namun demikian informasi ini paling tidak dapat membantu untuk program pengendalian lingkungan. Adapun formulasi IKA dilakukan dengan mengkombinasikan individual subindek dengan mengagregasikan nilai ini dengan memperhatikan faktor bobot kepentingan yang dinyatakan :

$$IKA = \sum_{i=1}^n (I_i) \times (W_i)$$

dimana :

IKA = Indek Kualitas Air (0-100),

$I_i$  = Subindek Peubah parameter pencemar (0-100),

$W_i$  = Satuan Bobot peubah parameter pencemar (0-1),

n = Jumlah parameter pencemar yang ditinjau

Oleh karena itu, IKA diperhitungkan hanya untuk berbagai parameter tertentu seperti Suhu, pH, TDS, DHL, DO, BOD,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_3$ , Cl,  $\text{PO}_4$ , Fe dan Mn dengan penentuan bobot sebagaimana table berikut :

Tabel 1.1 Penentuan Bobot setiap pencemar yang digunakan untuk menentukan besarnya IKA

No	Parameter	Bobot
1	Temperatur	0,070
2	Total Disolved Solid	0,060
3	Derajad Keasaman (pH)	0,090
4	Daya hantar listrik (DHL)	0,700
5	Oksigen Terlarut (DO)	0,125
7	BOD	0,110
8	$\text{NO}_3$	0,070
9	$\text{NH}_3$	0,070
10	$\text{PO}_4$	0,050
11	Fe	0,050
12	Mn	0,050
13	Fecal colli	0,115

Sumber : Dinius,S.H, Design of An Index Of Water Quality (1987)

Sedangkan hubungan indek dengan peruntukan perairan dijelaskan sebagai berikut :

Tabel 1.2 Nilai Skoring berdasarkan Klasifikasi Indeks Peruntukan Badan Air

Persen

100	Tidak dibutuhkan pemulihan	Diterima untuk semua jenis olahraga perairan	Diterima untuk perikanan/ Semua ikan	Pemulihan tidak dibutuhkan	↑	↑		
90	Kebutuhan Pemulihan secara sederhana			Pemulihan ringan dibutuhkan untuk kualitas air industri				
80	Dibutuhkan treatment yang lebih ekstensif	Menjadi tercemar, diterima dengan catatan kandungan bakteri	Peka untuk jenis ikan trout Meragukan untuk perikanan yang sensitif	Tidak dibutuhkan treatment untuk industri normal			D I T E R I M A	D I T E R I M A
70								
60	Meragukan	Belum tentu menimbulkan penyakit apabila terjadi kontak langsung	Hanya untuk perikanan yang tahan	Untuk semua industri membutuh kan treatment				
50								
40	TIDAK DAPAT DITERIMA	Hanya untuk kapal	Hanya untuk perikanan yang agak sensitif	Hanya untuk industri tertentu	↓	A		
30		Kenampak-an tercemar secara nyata	TIDAK DAPAT DITERIMA				TIDAK DAPAT DITERIMA	
20	DITERIMA	Kenampak-an tercemar dan tidak dapat diterima				Tercemar nyata, DAN TIDAK DITERIMA	↓	
10			TIDAK DAPAT DITERIMA					
0								
	<b>Pemenuhan Air Minum</b>	<b>Rekreasi</b>	<b>Ikan, kerang-kerangan dan binatan perairan</b>	<b>Industri dan Pertanian</b>	<b>Navigasi</b>	<b>Transportasi Air Limbah</b>		

### 1.2.2. Latihan

Jelaskan dan berikan contoh metode perhitungan kualitas air

### 1.3. PENUTUP

#### 1.3.1. Tes Formatif

1. Parameter berikut yang dapat digunakan untuk perhitungan indeks kualitas air:
  - a. DO, BOD, NO<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub>
  - b. Suhu, pH, TDS, DHL, NO<sub>x</sub>
  - c. Cl, PO<sub>4</sub>, Fe dan Mn, Kelembaban
  - d. Suhu, pH, NO<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub>, Kecepatan arus
2. Bila hasil perhitungan indeks suatu perairan yang akan digunakan untuk kegiatan industri menghasilkan nilai 64, maka dapat dikategorikan:
  - a. Kebutuhan Pemulihan secara sederhana
  - b. Dibutuhkan treatment yang lebih ekstensif
  - c. Tidak dibutuhkan treatment untuk industri normal
  - d. Untuk semua industri membutuhkan treatment
3. Formulasi indeks kualitas air dilakukan dengan mengkombinasikan individual subindek dengan mengagregasikan berdasarkan metode:
  - a. Penjumlahan
  - b. Penjumlahan dengan pembobotan
  - c. Perkalian
  - d. Perkalian dengan pembobotan
4. Berdasarkan nilai indeks kualitas air, semakin besar nilai yang dihasilkan menunjukkan perairan tersebut:
  - a. Semakin buruk
  - b. Semakin baik
  - c. Semakin jernih
  - d. Semakin terkendali

#### 1.3.2. Umpan Balik

Apabila semua jawaban anda benar berarti anda telah menguasai materi ini dengan baik dan apabila jawaban anda masih ada yang belum benar berarti anda masih kurang menguasai materi ini

### 1.3.3. Tindak Lanjut

Bagi anda yang telah menguasai materi ini anda dapat melanjutkan ke sub pokok bahasan selanjutnya, sedangkan anda yang masih kurang menguasai materi ini maka anda harus mempelajari kembali materi ini dan dipahami dengan contoh-contoh konkret di sekitar anda

### 1.3.4. Rangkuman

Penilaian IKA didasarkan atas pengaruh tiap parameter bahan pencemar terhadap peruntukkan kualitas air. Langkah awal yang ditempuh dalam membuat perumusan IKA adalah menterjemahkan pengaruh parameter pencemar dalam bentuk fungsi subindek. Angka Indek Kualitas Air disajikan antara 0 hingga 100, nilai 0 menyatakan kualitas badan air yang paling jelek, sedangkan nilai 100 nilai yang paling bagus, dimana IKA merupakan penjumlahan antara perkalian parameter yang ditinjau dengan bobot setiap parameter.

### 1.3.5. Kunci Jawaban Tes Formatif

1.A      2. C      3.D      4. B

## DAFTAR PUSTAKA

- Helawell, J.M, 1986, Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management (Pollution Monitoring Series), Kluwer Academic Publishers
- Hoag, D.L., Ascough II, J.C., Keske-Handley, C.G., Koontz, L.R. 2005. "Decision making with environmental indices", EOLSS Publishers Co Ltd
- Inhaber, H, 1976 "Environmental Indices (Environmental Science and Technology Series), John Wiley & Sons
- Ott, R.W, 1979, Environmental Indices: Theory and Practice, Ann Arbor Science Publishers
- Pyhk, Yuri; Hyatt, D.R.; Lenz Roman J.L., 1999 "Environmental Indices: System Analysis Approach (Advances in Sustainable Development) EOLSS Publishers Co Ltd

## SENARAI

Skoring : Pemberian nilai tertentu terhadap sesuatu hal

# IV

## POKOK BAHASAN : INDEK KUALITAS UDARA

### **I.1. Sub Pokok Bahasan : Indek Standar Pencemaran Udara (ISPU)**

#### **1.1. Pendahuluan**

##### **1.1.1. Deskripsi**

Sub pokok bahasan ini membahas tentang Metode perhitungan indek standar pencemaran kualitas udara

##### **1.1.2. Relevansi**

Sub Pokok Bahasan ini merupakan teori dasar indek standar pencemaran kualitas udara dan metode perhitungannya

##### **1.1.3. Kompetensi**

###### **a. Standar Kompetensi**

Mahasiswa yang mempelajari sub pokok bahasan ini akan mampu memahami konsep dasar untuk menghitung besarnya suatu indek standar pencemaran kualitas udara berdasarkan data yang ada

###### **b. Kompetensi dasar**

Mahasiswa mampu :

1. Menjelaskan indek standar pencemaran kualitas udara secara teoritis
2. Menjelaskan dan memberikan contoh perhitungan indek standar pencemaran kualitas udara

#### **1.2. PENYAJIAN**

##### **1.2.1. Uraian dan Penjelasan**

Pemantauan kualitas udara diperlukan untuk memperoleh nilai yang digunakan sebagai alat untuk pengendalian pencemaran udara suatu daerah. Data yang diperoleh dapat dibandingkan dengan standar kualitas udara sehingga dapat diperoleh indikasi pengaruh pencemaran udara terhadap kesehatan lingkungan. Adapun terminologi pengelolaan kualitas udara digunakan untuk menjelaskan semua fungsi yang dipakai untuk pengendali atmosfer.

Standar kualitas ambient kualitas udara baik primer maupun sekunder ditentukan berdasarkan *Clean Air Act Amandement* Tahun 1970; Standar primer didasarkan pada kriteria kualitas udara yang berkaitan dengan perlindungan keselamatan masyarakat, tanaman, binatang, properti dan material lainnya. Standar primer dan sekunder terdiri dari 6 (enam) bahan pencemar yang dijelaskan pada tabel berikut :

Tabel 1.1 Standar Nasional Ambien Kualitas Udara

No	Pencemar	Primer (ppm)	Sekunder (ppm)
1	Material Partikulat		
	- Tahunan (rata-rata geometrik)	75	60
	- Maksimum 24 jam	260	150
2	Lead		
	-Rata-rata 3 bulan	1,5	idem
3	Hidrokarbon		
	- Maksimum 3 jam ( pukul 06.00-09.00)	0,24	idem
4	Karbon Monooksida		
	- Maksimum 8 jam	9,0	
	- Maksimum 1 jam	35	idem
5	Sulfur Oksida		
	- Tahunan (Rata2 Aritmatik)	0,03	
	- Maksimum 24 jam	0,14	
	- maksimum 3 jam	-	0,5
6	Nitrogen Oksida		
	- Tahunan (Rata2 Aritmatik)	0,05	idem
7	Photokimia Oksida		
	- Maksimum 1 jam	0,12	idem

Selanjutnya untuk keperluan evaluasi Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) data diperoleh dari hasil laporan dan publikasi oleh lembaga resmi seperti Puserdal Bapedal, Hiperkes Dati I Jawa Tengah, Bapedalda dan BLH Kodia. Sehingga sistematika dan pemilihan lokasi pantau yang telah ditetapkan akan mempengaruhi hasil observasi yang akhirnya berpengaruh pada penentuan ISPUnya.

#### A. Perumusan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)

Merupakan perangkat analisis yang digunakan untuk menyederhanakan informasi terhadap peubah pencemar udara (CO, NO<sub>x</sub>, O<sub>x</sub>, Sox, TSP) dalam suatu nilai tunggal, sehingga dapat dibandingkan antara tempat yang satu dengan tempat yang lain.

Angka dan katagori Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) didasarkan pada Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor KEP-45/MENLH/10/1997 Tanggal 13 Oktober 1997 Tentang Indeks Standar Pencemar Udara sebagaimana tabel 1.2. berikut :

Tabel 1.2 Angka dan Katagori Indeks Pencemar Udara

KATAGORI	RENTANG	PENJELASAN
Baik	0-50	Tingkat Kualitas udara yang tidak memberikan efek bagi kesehatan manusia atau hewan dan tidak berpengaruh pada tumbuhan , bangunan ataupun nilai estetika
Sedang	51-100	Tingkat Kualitas udara yang tidak berpengaruh pada kesehatan manusia atau hewan tetapi berpengaruh pada tumbuhan yang sensitif dan nilai estetika
Tidak Sehat	101-199	Tingkat Kualitas udara yang bersifat merugikan pada manusia ataupun kelompok hewan yang sensitif atau bisa menimbulkan kerusakan pada tumbuhan dan nilai estetika
Sangat Tidak sehat	200-299	Tingkat Kualitas udara yang dapat merugikan kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar
Berbahaya	300-lebih	Tingkat kualitas udara berbahaya yang secara umum dapat merugikan kesehatan yang serius pada populasi

Sumber : Lampiran Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup  
 Nomor : KEP-45/MENLH/10/1997

Angka 0 menunjukkan kualitas udara paling baik, sedang angka 300 menunjukkan kualitas udara yang sangat buruk atau sangat berbahaya bagi kesehatan manusia. Ini berarti kualitas udara dikatakan baik bila ISPU kurang dari 50. Sedangkan pengaruh besarnya Indeks Standar Pencemar Udara terhadap kesehatan manusia, untuk setiap parameter pencemar mengacu pada Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan (Bapedal) Nomor KEP-107/KABAPEDAL/II/1997 Tanggal 21 Nopemer 1997 Tentang Pedoman Teknis Perhitungan dan Pelaporan Serta Informasi Indeks Standar Pencemar Udara sebagaimana tabel 1.3. berikut :

Tabel 1.3 Pengaruh Indeks Standar Pencemar Udara Untuk Setiap Parameter Pencemar

Kategori	Rentang	Carbon Monooksida (CO)	Nitrogen (NO <sub>2</sub> )	Ozon (O <sub>3</sub> )	Sulfur Oksida (SO <sub>2</sub> )	Partikulat
Baik	0-50	Tidak ada efek	Sedikit berbau	Luka pada beberapa spesies tumbuhan akibat kombinasi dengan SO <sub>2</sub> selama 4 jam	Luka pada beberapa spesies tumbuhan akibat kombinasi O <sub>3</sub> selama 4 jam	Tidak ada efek
Sedang	51-100	Perubahan kimia darah tapi tidak terdeteksi	Berbau	Luka pada beberapa spesies tumbuhan	Luka pada beberapa spesies tumbuhan	Terjadi penurunan pada jarak pandang
Tidak sehat	101-199	Peningkatan pada gejala kardiovaskular pada perokok yang sakit jantung	bau dan Kehilangan warna. Peningkatan reaktivitas pembuluh tenggorokan pada penderita asma	Penurunan kemampuan pada atlet yang berlatih keras	Bau .Meningkatnya kerusakan tanaman	jarak pandang turun dan terjadi pengotoran debu dimana - mana
Sangat tidak sehat	200-299	Meningkatnya gejala kardiovaskular pada orang bukan perokok yang berpenyakit jantung dan akan tampak. Beberapa kelemahan yang terlihat secara nyata	Meningkatnya sensitivitas yang berpenyakit asma dan bronhitis	Olah raga ringan mengakibatkan pengaruh pernafasan pada pasien yang berpenyakit paru-paru kronis	Meningkatnya sensitivitas pada pasien berpenyakit asma dan bronhitis	Meningkatnya sensitivitas pada pasien berpenyakit asthma dan bronhitis
Berbahaya	300-lebih	Tingkat yang berbahaya bagi semua populasi yang terpapar				

Sumber : Lampiran Keputusan Kepala Bapedal Kep-107/KABAPEDAL/11/1997.

Parameter - parameter dasar untuk Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) dan periode waktu pengukuran didasarkan pula pada Lampiran Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Nomor KEP-107/KABAPEDAL /II/1997 Tanggal 21 Nopember 1997 Tentang Pedoman Teknis Perhitungan dan Pelaporan Serta Informasi Indeks Standar Pencemar Udara sebagaimana tabel 1.4 berikut :

Tabel 1.4 Parameter -Parameter Dasar Untuk Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) Beserta Periode Waktu Pengukurannya

No.	Parameter	Waktu Pengukuran
1	Partikulat (PM 10)	24 jam ( Periode Pengukuran rata-rata )
2	Sulfur Dioksida (SO <sub>2</sub> )	24 jam ( Periode Pengukuran rata-rata )
3	Carbon Monoksida (CO)	8 jam ( Periode Pengukuran rata-rata )
4	Ozon (O <sub>3</sub> )	1 jam ( Periode Pengukuran rata-rata )
5	Nitrogen Dioksida (NO <sub>2</sub> )	1 jam ( Periode Pengukuran rata-rata )

Sehingga pada dasarnya ISPU dibuat untuk mengagregasikan beberapa faktor yang cukup kompleks dari kualitas udara. Adapun perumusan ISPU yang didasarkan pada konsentrasi polutan hasilnya dapat diskoring dengan kriteria indeks kualitas udara sehingga batas Indeks Standar Pencemar Udara dapat disusun dalam bentuk tabel dan grafis untuk lebih mudah penelaahannya . Namun dalam kaitan penelitian dimana data lapangan sebagian besar dalam satuan ppm maka tabel dibawah ini ditunjukkan batas indeks dalam bentuk dua satuan sesuai keputusan diatas.

Tabel 1.5 Batas Indeks Standar Pencemar Udara Dalam satuan SI

ISPU	24 jam PM 10 µg/m <sup>3</sup>	24 jam SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup> (ppm)	8 jam CO mg/m <sup>3</sup> (ppm)	1 jam O <sub>3</sub> µg/m <sup>3</sup> (ppm)	1 jam NO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup> (ppm)
50	50	80	5	120	(2)
		(0,0300)	(4,500)	(0,6000)	
100	150	365	10	235	(2)
		(0,1400)	(9,0000)	(0,1160)	
200	350	800	17	400	1130
			(15,0000)	(0,2000)	(0,6000)
300	420	1600	34	800	2260
			(30,0000)	(0,4000)	(1,2000)
400	500	2100	46	1000	3000
			(40,0000)	(0,5000)	(1,6000)
500	600	2620	57,5	1200	3750
			(50,0000)	(0,6000)	(2,0000)

Catatan :

1. Pada 25°C dengan tekanan normal 760 mm Hg,
2. Tidak ada indeks yang dapat dilaporkan pada konsentrasi rendah dengan jangka pemaparan yang pendek.

### B. Metode Perhitungan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)

Perhitungan besarnya indeks parameter-parameter dasar didasarkan pula pada Lampiran Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Nomor KEP-107/KABAPEDAL/II/1997 Tanggal 21 Nopember 1997 Tentang Pedoman Teknis Perhitungan dan Pelaporan Serta Informasi Indeks Standar Pencemar Udara sebagaimana berikut :

- Konsentrasi ambient dinyatakan dalam ( $X_x$ ) dalam satuan ppm, mg/m<sup>3</sup> dan lainnya
- Angka nyata Indeks Standar Pencemar Udara dinyatakan dalam (I),
- Rumus yang digunakan dalam perhitungan adalah :

$$I = \frac{I_A - I_B}{X_A - X_B} (X_x - X_B) + I_B$$

dimana :

- I = ISPU terhitung  
 I<sub>A</sub> = ISPU batas atas

- $I_B$  = ISPU batas bawah
- $X_A$  = Ambien batas atas
- $X_B$  = Ambien batas bawah
- $X_x$  = Kadar Ambien nyata hasil pengukuran

**Contoh Perhitungan**

Diketahui konsentrasi udara ambien untuk jenis parameter  $SO_2$  adalah  $322 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , kemudian konsentrai tersebut diubah dalam bentuk angka Indek Standar Pencemar Udara adalah sebagai berikut (dari tabel di atas) :

- $X_x$  = Kadar Ambien nyata hasil pengukuran (diketahui )  
 $322 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,
- $I_A$  = ISPU batas atas = 100 (baris3)
- $I_B$  = ISPU batas bawah = 50 (baris2)
- $X_A$  = Ambien batas atas = 365 (baris3)
- $X_B$  = Ambien batas bawah = 80 (baris2)

Tabel 1.6 Batas Indek Standar Pencemar Udara Dalam satuan SI

ISPU	24 jam PM 10	24 jam $SO_2$	8 jam CO	1 jam $O_3$	1 jam $NO_2$
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
50	50	80	5	120	(2)
100	150	365	10	235	(2)
200	350	800	17	400	1130
300	420	1600	34	800	2260
400	500	2100	46	1000	3000
500	600	2620	57,5	1200	3750

Sehingga angka-angka tersebut dimasukkan dalam rumus menjadi :

$$I = \frac{I_A - I_B}{X_A - X_B} (X_x - X_B) + I_B = \frac{100 - 50}{365 - 80} (322 - 80) + 50 = 92,45$$

Jadi konsentrasi udara ambien  $SO_2$   $322 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , dirubah menjadi Indek Standar Pencemar Udara (ISPU ) adalah sebesar 92,45 atau dibulatkan 92.

### 1.2.2. Latihan

1. Jelaskan dan berikan contoh metode perhitungan indeks standar pencemaran udara

### 1.3. Penutup

#### 1.3.1. Tes Formatif

1. Parameter berikut yang dapat digunakan untuk perhitungan indeks kualitas udara:
  - a. DO,  $O_x$ ,  $SO_x$ , TSP
  - b. TDS, DHL,  $NO_x$ , CO
  - c. CO,  $NO_x$ ,  $O_x$ ,  $SO_x$ , TSP
  - d. Suhu, pH, CO,  $NO_x$ ,  $O_x$
2. Bila hasil perhitungan indeks udara berdasarkan berbagai parameter diperoleh hasil sebesar 155 maka dapat dikategorikan
  - a. Sedang
  - b. Tidak Sehat
  - c. Sangat tidak sehat
  - d. moderat
3. Formulasi indeks standar pencemaran udara dilakukan dengan mengkombinasikan individual subindek dengan mengagregasikan berdasarkan metode:
  - a. Penjumlahan
  - b. Penjumlahan dengan pembobotan
  - c. Perkalian
  - d. Perkalian dengan pembobotan
4. Berdasarkan nilai indeks polusi udara, semakin besar nilai yang dihasilkan menunjukkan kondisi udara tersebut:
  - a. Semakin sehat
  - b. Semakin tidak sehat
  - c. Semakin berbahaya
  - d. Semakin terkendali

#### 1.3.2. Umpan Balik

Apabila semua jawaban anda benar berarti anda telah menguasai materi ini dengan baik dan apabila jawaban anda masih ada yang belum benar berarti anda masih kurang menguasai materi ini

#### 1.3.3. Tindak Lanjut

Bagi anda yang telah menguasai materi ini anda dapat melanjutkan ke sub pokok bahasan selanjutnya, sedangkan anda yang masih kurang menguasai materi ini maka anda harus mempelajari kembali materi ini dan dipahami dengan contoh-contoh konkrit di sekitar anda

#### **1.3.4. Rangkuman**

Pada dasarnya ISPU dibuat untuk mengagregasikan beberapa faktor yang cukup kompleks dari kualitas udara. Adapun perumusan ISPU yang didasarkan pada konsentrasi polutan hasilnya dapat diskoring dengan kriteria indek kualitas udara sehingga batas Indeks Standar Pencemar Udara dapat disusun dalam bentuk tabel dan grafis untuk lebih mudah penelaahannya

#### **1.3.5. Kunci Jawaban Tes Formatif**

1.C      2. B      3.A      4. B

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- D'Eridita', L, 1995. Soil and Soil Related Indicators and Indices for Environmental Impact Assessment, European Comission
- Hoag, D.L., Ascough II, J.C., Keske-Handley, C.G., Koontz, L.R. 2005. "Decision making with environmental indices" , EOLSS Publishers Co Ltd
- Inhaber, H, 1976 "Environmental Indices (Environmental Science and Technology Series), John Wiley & Sons
- Ott, R.W, 1979, Environmental Indices: Theory and Practice, Ann Arbor Science Publisher
- Pyhk, Yuri; Hyatt, D.R.; Lenz Roman J.L., 1999 "Environmental Indices: System Analysis Approach (Advances in Sustainable Development) EOLSS Publishers Co Ltd

#### **SENARAI**

Konsentrasi : Besaran nilai terukur dari suatu parameter



# V

## POKOK BAHASAN : INDEK KEBISINGAN

### I.1. Sub Pokok Bahasan : Indek Kebisingan

#### 1.1. PENDAHULUAN

##### 1.1.1. Deskripsi

Sub pokok bahasan ini membahas tentang berbagai metode perhitungan indek kebisingan

##### 1.1.2. Relevansi

Sub Pokok Bahasan ini merupakan teori dasar indek kebisingan dan metode perhitungannya

##### 1.1.3. Kompetensi

###### a. Standar Kompetensi

Mahasiswa yang mempelajari sub pokok bahasan ini akan mampu memahami konsep dasar untuk menghitung besarnya suatu indek kebisingan berdasarkan data yang ada

###### b. Kompetensi dasar

Mahasiswa mampu :

1. Menjelaskan indek kebisingan secara teoritis
2. Menjelaskan dan memberikan contoh perhitungan indek kebisingan

#### 1.2. PENYAJIAN

##### 1.2.1. Uraian dan Penjelasan

Bising adalah suara yang tidak diinginkan. Pada baku mutu kebisingan kuantitas bising dinyatakan dalam satuan desibel (dB), baik menggunakan pembobot A, B, dan C (dBA, dBB, dan dBC). Besaran dB diperlukan karena range suara yang mampu didengar

telinga manusia sangat lebar, yaitu dari  $2 \times 10^{-5}$  Pa sampai sekitar  $10^2$  Pa, atau dengan kata lain rangnya sekitar 10 juta. Oleh karena semakin meningkatnya kuantitas dan kualitas bising yang terjadi dan terus meningkatnya kesadaran atau kebutuhan masyarakat akan kenyamanan audio, maka diperlukan indek kebisingan untuk menggambarkan kuantitas kebisingan secara obyektif, dan dapat digunakan sebagai acuan pengaturan pengendalian kebisingan.

#### A. Tingkat Tekanan Suara

Tingkat tekanan suara merupakan skala logaritmik dari tingkat tekanan suara, skala logaritmik digunakan karena range tingkat tekanan yang mampu didengar oleh telinga manusia sangat lebar, yaitu mulai dari  $2 \times 10^{-5}$  Pa hingga sekitar 102 Pa. Tekanan suara yang didengar oleh telinga merupakan getaran molekul-molekul udara (media perambat) yang menggetarkan gendang telinga. Semakin besar getaran-getaran molekul pada media perambat maka semakin keras pula suara yang terdengar. Secara umum dapat dikatakan bahwa semakin jauh dari sumber suara maka semakin rendah tekanan suaranya. Tekanan suara dinyatakan dalam pascal (Pa) dan tingkat tekanan suara dinyatakan dalam desibel (dB),

$$L_p = 10 \text{ Log}(P^2/P_0^2)$$

dimana,

$L_p$  = tingkat tekanan suara (dB)

$P = P_{rms}$  = tekanan suara yang terukur dalam root mean square

$$\sqrt{((p_1)_{avg}^2 + (p_2)_{avg}^2)}$$

$P_0 = P_{rms}$  referensi ( $2 \times 10^{-5}$  Pa)

#### B. Tingkat Daya Suara

Daya suara menggambarkan energi yang dipancarkan oleh gelombang suara dari sumbernya. Daya suara dinyatakan dalam watt. Tingkat daya suara merupakan skala logaritmik dari daya suara. Tingkat daya suara dinyatakan dalam desibel (dB).

$$L_w = 10 \text{ log}(W/ W_0)$$

dimana,

$L_w$  = tingkat daya suara

$W$  = daya suara (watt)

$W_0$  = daya suara referensi ( $10^{-12}$  Watt)

### C. Tingkat Intensitas Suara

Intensitas suara adalah daya suara yang dipancarkan dalam satu satuan luas. Intensitas suara dinyatakan dalam watt/m<sup>2</sup>. Tingkat intensitas merupakan logaritmik dari intensitas suara. Tingkat intensitas suara dinyatakan dalam desible (dB)

$$L_i = 10 \log (I/I_0)$$

dimana;

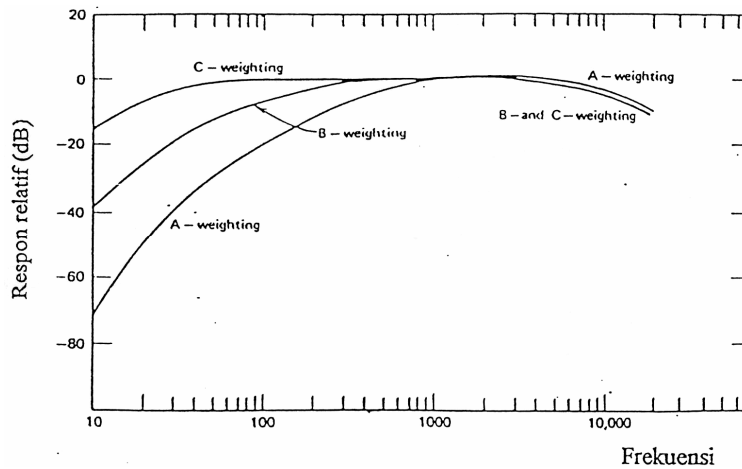
$L_i$  = tingkat intensitas suara (dB)

$I$  = intensitas suara (watt/m<sup>2</sup>)

$I_0$  = intensitas suara referensi (10-12 watt/m<sup>2</sup>)

### D. Pembobot A, B dan C

Disebabkan oleh tidak liniernya respon telinga manusia untuk tiap frekuensi suara, maka pada pengukuran digunakan pembobot A, B atau C. Tujuan dari pembobotan tersebut adalah untuk menggambarkan bahwa suara dengan tingkat tekanan yang besar akan memiliki kekerasan yang lebih tinggi bila dibanding dengan suara dengan tingkat tekanan suara yang lebih rendah. Tanpa pembobot, ada kemungkinan suara dengan tingkat tekanan suara yang lebih tinggi terdengar lebih pelan dari suara dengan tingkat tekanan yang lebih rendah. Hal ini dikarenakan bahwa telinga manusia kurang peka pada suara dengan frekuensi rendah (dibawah 500 Hz) dan sangat peka pada suara dengan frekuensi antara 1000 sampai 4000 Hz. Karakteristik untuk masing-masing pembobot (A, B, dan C) terlihat pada gambar di bawah :



Gambar 1.1. Karakteristik Respon Frekuensi Pembobot A, B, dan C

Tabel 1.1 Skala dan ilustrasi Tingkat Bising dalam dBA

Respon Pendengaran	Tingkat Bising (dBA)	Ilustrasi
Menulikan	120	Halilintar, Meriam
	110	
	100	
Sangat hiruk	90	jalan hiruk pikuk, perusahaan sangat gaduh, peluit polisi
	80	
Kuat	70	Kantor gaduh, jalan pada umumnya, radio, perusahaan
	60	
Sedang	50	Rumah gaduh, kantor pada umumnya, percakapan kuat, radio perlahan
	40	
Tenang	30	Rumah tenang, kantor pada umumnya, auditorium, percakapan
	20	
Sangat tenang	10	Suara-suara alam, berbisik-bisik batas dengar terendah

## E. Beberapa Sistem Skala Kebisingan

### Tingkat Desil $L_{10}$ , $L_{50}$ dan $L_{90}$

Tingkat desil  $L_{10}$  adalah 10% dari selang waktu tertentu bising yang timbul berada di bawah *background wise*, yang menggambarkan tingkat kebisingan puncak, atau dengan kata lain desil ini menyatakan bising puncak yang terjadi. Sedang  $L_{50}$  adalah tingkat bising yang dilampaui selama 50% dari selang waktu tertentu, yang menggambarkan tingkat kebisingan rata-rata yang terjadi, dan  $L_{90}$  adalah tingkat bising yang dilampaui selama 90 % dari selang waktu tertentu yang menggambarkan tingkat kebisingan latar belakang. Tabel 5.2. berikut adalah standar kriteria kebisingan dalam  $L_{10}$  yang dikeluarkan oleh PHWA.

Tabel 1.2 Standar Kriteria Kebisingan dalam L10(PHWA)

Kategori	$L_{10}$	Diskripsi
A	60 dBA (Eksterior)	Daerah dimatia ketenangan mempunyai arti penting perlu selalu dijaga, misalnya amphitheater, ruangan khusus atau ruangan terbuka lain untuk aktivitas khusus yang perlu ketenangan
B	70 dBA (Eksterior)	Pemukiman, hotel, ruang rapat, sekolah, kantor, masjid, gereja, perpustakaan, rumah sakit, area rekreasi, area olahraga dan taman
C	75 dBA (Eksterior)	Lahan terbangun selain A dan B
D	-	Daerah tak Terbangun
E	55 dBA	Permukiman, Hotel, Ruang rapat, Sekolah, Kantor, masjid, gereja, perpustakaan, rumah sakit, area rekreasi, area olahraga dan taman

## F. Tingkat Energi Ekuivalen ( $Leq$ )

Tingkat energi ekuivalen ( $Leq$ ) menyatakan tingkat bising mantap yang mempunyai energi sama dengan energi bising yang berfluktuasi dalam selang waktu tertentu. Harga  $Leq$  dapat diperoleh dengan persamaan :

$$Leq = 10 \text{ Log } \frac{1}{T} \sum t_i 10^{\frac{Ld}{10}}$$

dimana,

Li = tingkat tekanan suara sesaat dalam bobot A

Ti = Selang waktu terjadinya harga Li

T = Selang waktu pengukuran

Dalam pengambilan data yang dilakukan dengan pencacahan dalam selang waktu pembacaan dan memberikan selang harga tingkat tekanan suara Li, maka persamaan di atas dapat ditulis dalam bentuk

$$Leq = 10 \log \frac{1}{N} \sum n_i 10^{\frac{Li}{10}}$$

dimana,

Li = Harga rata-rata dari setiap selang pembacaan yang menyatakan tingkat tekanan suara dalam, bobot A pada saat pencacahan

ni = Banyaknya frekuensi terjadinya tingkat ketekptian suara, dalam selang Li

N = Jumlah pencacahan data selang waktu pengukuran

Tingkat energi ekivalen dapat juga dinyatakan dengan persamaan pendekatan yang menganggap bahwa tingkat kebisingan mengikuti sebaran Gauss dengan deviasi standard S.

$$Leq = L_{50} + \frac{\sigma^2}{8,86}$$

$$Leq = 1,50 + \frac{(L_{10} - L_{90})}{10}$$

Menurut dokumen level US Environmental Protection Agency (EPA), batas maksimum atau batas aman tingkat tekanan suara rata-rata yang menyangkut dengan pertimbangan kehilangan pendengaran akibat kebisingan adalah  $Leq = 70$  dBA. Tabel berikut merupakan standard tingkat kebisingan  $Leq$  yang dikeluarkan oleh EPA.

Tabel 1.3 Standar Tingkat Kebisingan Leq(EPA)

Efek	Tingkat	Daerah
Hearing Loss	Leq (24 jam) = 70dBA	Umum
Interferensi aktivitas di gedung/ruang dan annoyance	Ldn = 55dBA	Tempat-tempat di luar gedung ruangan di sekitar daerah permukiman dan tempat lain dimana manusia banyak menggunakan waktunya
Interferensi aktivitas di gedung/ruang dan annoyance	Leq (24 jam) = 55dBA	Tempat-tempat di luar gedung, dimana manusia banyak menggunakan waktunya seperti halaman sekolah
Interferensi aktivitas di gedung/ruang dan annoyance	Ldn = 45 dBA	Tempat-tempat di dalam gedung ruangan di sekitar permukiman
Interferensi aktivitas di gedung/ruang dan annoyance	Leq (24 jam) = 45dBA	Tempat-tempat di dalam gedung, ruangan dengan aktivitas manusia seperti ruangan kelas

#### G. Tingkat Polusi Kebisingan (LNP)

Tingkat polusi kebisingan (LNP) merupakan kriteria kebisingan untuk menilai tanggapan manusia terhadap kebisingan yang berfluktuasi dan didefinisikan oleh persamaan :

$$LNP = Leq + 2,56 s$$

Dimana s adalah tingkat kebisingan dalam selang waktu tertentu. Bila tingkat bising dianggap sebaran Gauss, harga LNP dapat dinyatakan dalam persamaan

$$LNP = Leq + (L_{10} - L_{90})$$

Selisih harga  $L_{10}$  dan  $L_{90}$  menyatakan fluktuasi kebisingan. Menurut kriteria US Department of Housing and Urban Development,  $LNP = 74$  dB (W) ditetapkan sebagai harga batas.

Tabel berikut merupakan standar kriteria kebisingan dalam LNP yang dikeluarkan oleh HUD.

Tabel 1.4 Standard Kriteria Kebisingan Dalam LNP (HUD)

Kondisi	Pendekatan LNP (dBA)
Benar-benar tidak dapat diterima	> 88 dBA
Melebihi 80 dBA selama 60 menit/24 jam	
Melebihi 75 dBA selama 8 jam/24 jam	
Tidak dapat diterima	74 - 88 dBA
Melebihi 65 dBA selama 8 jam/24jam	
Kebisingan berlangsung terus	
Dapat diterima	62 - 74 dBA
Tidak melebihi 65 dBA selama > 8 jam/24 jam	
Benar-benar dapat diterima	62 dBA
Tidak melebihi 45 dBA selama > 30 menit/ 24 jam	

#### H. Indek Kualitas Kebisingan

Beberapa indek kebisingan yang diusulkan untuk menggambarkan lebih jauh indikator fisik dari kebisingan antara lain untuk bandara yaitu NNI (Noise and Number Index), Annoyance Index (AI), Disturbance Index (Q), Noiseness Index (NI). Sedangkan indek kebisingan untuk jalan raya dan/atau pemukiman antara lain adalah, Disturbance Index (Q), TNI (Traffic Noise Index), Annoyance Index (AI).

##### 1) Indek Kebisingan untuk Bandara

###### a. Noise and Number Indek (NNI)

Skala NNI adalah indek kebisingan yang diterapkan oleh Inggris untuk keperluan bandara, dimana definisi dari NNI adalah :

$$NNI = (\text{rata}^2 \text{SPL}_{\text{peak}}) + 15 \log_{10} N - 80$$

dimana,

$\text{SPL}_{\text{peak}}$  = Tingkat tekanan suara puncak

N = Jumlah pesawat terbang- selama satu perioda ( 1 hari atau 1 malam)

###### b. Annoyance Index (AI)

Annoyance Index (AI) digunakan di Australia, definisinya adalah:

$$AI = 10 \log_{10} \sum 10^{\frac{Li}{10}}$$

dimana,

Li = Harga puncak dari perceived noise level (PNL) untuk tiap pesawat terbang

**c. Disturbance Index (Q)**

Disturbance Index (Q) digunakan di Jerman, dengan definisinya adalah

$$Q = 1/\alpha \log_{10} \left( \frac{1}{T} \sum 10^{\alpha Li} X \tau_i \right)$$

dimana,

$\alpha$  = Parameter bebas (biasanya 3/40)

T = Durasi pengamatan

Li = Rata-rata SPL, untuk interval klas i

$\tau_i$  = Total waktu selama interval klas i

**d. Noisiness Index (NI).**

Noisiness Index digunakan di Afrika Selatan, dengan definisi :

NI = 10

$$\log_{10} \left( \sum anti \log \left( \frac{L_T + 10 \log(t/t_0) + C + S}{10} \right) \right)$$

dimana,

LT = Koreksi tone A-level, dihitung dari 1/3 ) octave band

t = Durasi efektif

t<sub>0</sub> = Total waktu pengamatan

C = Koreksi time-of-day

S = Koreksi seasonal

**2) Indek Kebisingan Untuk Lalu-lintas**

**a. Traffic Noise Index (TNI)**

TNI digunakan di negara Inggris, menyatakan tingkat bising dengan anggapan bahwa respon telinga manusia terhadap tingkat bising lalu-lintas dipengaruhi oleh

besarnya harga tingkat bising puncak (L10)) relatif terhadap tingkat bising latar belakang (L90). Definisi dari TNI adalah :

$$TNI = 4 (L10 - L90) + L90 - 30$$

Selisih antara L10 – L90 pertama menyatakan beda antara bising puncak dengan bising latar belakang. Sedangkan L90 menyatakan kebisingan latar belakang, dan suku ketiga (angka 30) adalah kompensasi matematis agar harga TNI sama besarnya dengan kriteria kebisingan lainnya.

**b. Disturbance Index (Q)**

Disturbance Index (Q) untuk lalu-lintas digunakan di Austria, dengan persamaan:

$$Q = 13,3 \log_{10} \left( \frac{1}{100} \sum 10^{L_i/13,3} x f_i \right)$$

dimana,

$L_i$  = Tingkat tekanan suara (SPL) dalam dBA interval klas 1

$f_i$  = Persentase dari total perioda pengamatan untuk tiap interval klas

**c. Annoyance Index (AI).**

Annoyance Index (AI) untuk lalu-lintas digunakan di Swiss, dengan persamaan:

$$AI = 0,493 L_{10} - 0,2481 L_{50} + 0,317 L_{90} - 19,478$$

**d. Total Noise Load (B)**

Total Noise Load (B) adalah rata-rata tingkat kebisingan dengan pembobot A untuk tiap waktu sepanjang hari. Total Noise Load digunakan di Belanda, dimana definisi dari Total Noise Load (B) adalah

$$Q = 20 \log_{10} \left( \sum W_i \times \text{anti log}(L_i / 15) \right) - C$$

dimana,

$W_i$  = Faktor pembobot (lihat tabel)

$L_i$  = Maksimum SPL dalam dBA pada pengukuran ke i

$C = 157$ , untuk pengukuran selama 1 tahun, atau 106 untuk pengukuran 1 hari

Tabel 1.5 Faktor Pembobot time-of-day,

Waktu	Faktor Pembobot (W)
00.00 - 06.00	10
06.00 - 07.00	8
07.00 - 08.00	4
08.00 - 18.00	1
18.00 - 19.00	2
19.00 - 20.00	3
20.00 - 21.00	4
21.00 - 22.00	6
22.00 - 23.00	8
23.00 - 24.00	10

Korelasi antara NNI dengan Total Noise Load (B) adalah 0,94. Dari survey yang dilakukan di Belanda didapat bahwa B dengan nilai 45 menunjukkan "batas yang diijinkan". Harga dari Total Noise Load (B) dapat ditentukan langsung dengan cara hasil pengukuran kebisingan sederhana dengan menggunakan SLM (Sound Level Meter) yang dilengkapi filter pembobot A. Dari hasil pengukurang kebisingan yang didapat dengan SLM, dan dengan memasukkan ke persamaan Total Noise Load (13) di atas maka akan didapat rating dari B.

### 1.2.2. Latihan

1. Jelaskan dan berikan contoh metode perhitungan indek kebisingan
2. Jelaskan dan berikan contoh perhitungan indek kebisingan Bandara dan Lalu lintas

## 1.3. PENUTUP

### 1.3.1. Tes Formatif

1. Getaran molekul-molekul udara (media perambat) yang menggetarkan gendang telinga disebut :
  - a. Daya suara
  - b. Tekanan suara
  - c. Intensitas suara
  - d. Energi ekivalen
2. Energi yang dipancarkan oleh gelombang suara dari sumbernya disebut :

- a. Tingkat daya suara
  - b. Tingkat tekanan suara
  - c. Tingkat intensitas suara
  - d. Tingkat energi ekuivalen
3. Tingkat bising mantap yang mempunyai energi sama dengan energi bising yang berfluktuasi dalam selang waktu tertentu disebut :
    - a. Tingkat daya suara
    - b. Tingkat tekanan suara
    - c. Tingkat intensitas suara
    - d. Tingkat energi ekuivalen
  4. Kriteria kebisingan untuk menilai tanggapan manusia terhadap kebisingan yang berfluktuasi disebut :
    - a. Tingkat intensitas suara
    - b. Tingkat polusi kebisingan
    - c. Tingkat tekanan suara
    - d. Tingkat daya suara
  5. Berikut Yang seluruhnya merupakan indek kebisingan lalu lintas adalah :
    - a. Disturbance Index, Annoyance Index, Noisiness Index
    - b. Annoyance Index, Noisiness Index, Noise and Number Index
    - c. Traffic Noise Index, Disturbance Index, Noise and Number Index
    - d. Traffic Noise Index, Disturbance Index, Annoyance Index,

### **1.3.2. Umpan Balik**

Apabila semua jawaban anda benar berarti anda telah menguasai materi ini dengan baik dan apabila jawaban anda masih ada yang belum benar berarti anda masih kurang menguasai materi ini

### **1.3.3. Tindak Lanjut**

Bagi anda yang telah menguasai materi ini anda dapat melanjutkan ke sub pokok bahasan selanjutnya, sedangkan anda yang masih kurang menguasai materi ini maka anda harus mempelajari kembali materi ini dan dipahami dengan contoh-contoh konkrit di sekitar anda

#### **1.3.4. Rangkuman**

Bising adalah suara yang tidak diinginkan. Pada baku mutu kebisingan kuantitas bising dinyatakan dalam satuan desibel (dB), baik menggunakan pembobot A, B, dan C (dBA, dBB, dan dBC). Semakin meningkatnya kuantitas dan kualitas bising yang terjadi dan terus meningkatnya kesadaran atau kebutuhan masyarakat akan kenyamanan audio, maka diperlukan indek kebisingan untuk menggambarkan kuantitas kebisingan secara obyektif, dan dapat digunakan sebagai acuan pengaturan pengendalian kebisingan

#### **1.3.5. Kunci Jawaban Tes Formatif**

1.B      2. A      3.D      4. B      5. D

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- D'Eridita', L, 1995. Soil and Soil Related Indicators and Indices for Environmental Impact Assessment, European Comission
- Helawell, J.M, 1986,Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management (Pollution Monitoring Series), Kluwer Academic Publishers
- Hoag, D.L., Ascough Ii, J.C., Keske-Handley, C.G., Koontz, L.R. 2005. "Decision making with environmental indices", EOLSS Publishers Co Ltd
- Inhaber, H, 1976 "Environmental Indices (Environmental Science and Technology Series), John Wiley & Sons
- Ott, R.W, 1979, Environmental Indices: Theory and Practice, Ann Arbor Science Publishers
- Pyhk, Yuri; Hyatt, D.R.; Lenz Roman J.L., 1999 "Environmental Indices: System Analysis Approach (Advances in Sustainable Development) EOLSS Publishers Co Ltd

#### **SENARAI**

Skala : Nilai batas dari sesuatu dengan rentang tertentu



# VI

## POKOK BAHASAN : INDEK BIOTA PERAIRAN DAN TERESTERIAL

### I.1. Sub Pokok Bahasan : Indek Biota Perairan dan Teresterial

#### 1.1. PENDAHULUAN

##### 1.1.1. Deskripsi

Sub pokok bahasan ini membahas tentang berbagai metode perhitungan indek biota perairan dan terestrial

##### 1.1.2. Kompetensi

###### a. Standar Kompetensi

Mahasiswa yang mempelajari sub pokok bahasan ini akan mampu memahami konsep dasar untuk menghitung besarnya suatu indek biota perairan dan terestrial berdasarkan data yang ada

###### b. Kompetensi dasar

Mahasiswa mampu :

1. Menjelaskan indek biota perairan dan terestrial secara teoritis
2. Menjelaskan dan memberikan contoh perhitungan biota perairan dan terestrial

#### 1.2. PENYAJIAN

##### 1.2.1. Uraian dan Penjelasan

Perubahan yang terjadi pada lingkungan perairan sebagai akibat adanya masukan bahan pencemar akan menyebabkan perubahan didalam penyebaran dan kelimpahan jenis organisme. Karena kumpulan jenis (spesies) organisme ini merupakan suatu populasi, yang secara totalitas nantinya membentuk komunitas,

maka perubahan mutu lingkungan ini dapat mengakibatkan terjadinya perubahan pada struktur komunitas organisme tersebut.

Kehidupan di dalam perairan biasanya masih dapat bertahan dalam bentuk struktur komunitas yang khas, meskipun berada dalam kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan. Keadaan struktur komunitas organisme yang khas ini dapat dijadikan indikator untuk menilai kemantapan ekosistem perairan di mana organisme tersebut berada. Organisme air yang umum dipakai sebagai indikator biotik adalah : *Plankton*, *Benthos* dan *Nekton*.

#### **A. Metode Penentuan Indek Biotik**

Metode perhitungan indek biotik dapat dilakukan dengan dua sistem yaitu: sistem saprobik (penilaian saprobitas perairan) dan sistem diversitas (penilaian keanekaragaman dan kelimpahan jenis organisme).

#### **B. Sistem Saprobitik**

Pengukuran indek saprobik pada umumnya dilakukan pada perairan yang diduga mengalami pencemaran bahan organik. Dengan demikian, besarnya angka/indek yang diperoleh merupakan petunjuk tentang tingkat pencemaran bahan organik atau saprobitas perairan.

Penilaian tingkat saprobitas perairan dengan sistem ini dapat dilakukan dengan dua cara.

- a, dengan pendekatan kualitatif, yaitu dengan melihat kelompok organisme yang dominan saja (sesuai karakter saprobitasnya).
- b, dengan pendekatan kuantitatif, yaitu dengan perhitungan empirik berdasarkan kelimpahan jenis dan struktur komunitasnya.

Dari dua pendekatan tersebut dapat dinyatakan bahwa pendekatan kuantitatif lebih dapat diandalkan , khususnya untuk keperluan penilaian tingkat pencemaran dan kemantapan ekosistem perairan.

Dengan pendekatan kuantitatif, ada dua cara yang biasa digunakan untuk penilaian saprobitas perairan, yaitu: **Indek saprobik (IS)** dan **Koefisien saprobik (KS)**.

**Indek saprobik (IS)** dapat dihitung berdasarkan cara Pantle and Buck (Persoone and De Pauw, 1979) dengan rumus :

$$IS = (S \times h) / h$$

dimana :

IS : indek saprobik

S : tingkat saprobitas dengan ketentuan :

S = 1, untuk kelompok organisme oligosaprobik

S = 2, untuk kelompok organisme Mesosaprobik

S = 3, untuk kelompok organisme Mesosaprobik

S = 4, untuk kelompok organisme Polisaprobik

h : Frekuensi dari keberadaan organisme yang dijumpai;

h = 1, untuk organisme yang jarang dijumpai

h = 2, untuk organisme yang sering dijumpai

h = 3, untuk organisme yang sangat berlimpah.

**Koefisien saprobik** dapat dihitung dengan rumus Dresscer and Van Der Mark (Perssone and De Pauw, 1979) sebagai berikut:

$$KS = (C + 3D - B - 3A) / (A + B + C + D)$$

dimana :

KS : koefisien saprobik (nilainya berkisar antara -3 sampai 3)

A : jumlah organisme penyusun kelompok Polisaprobik atau Ciliata

B : jumlah organisme penyusun kelompok  $\alpha$  Mesosaprobik atau Euglenophyta

C : jumlah organisme penyusun kelompok  $\beta$  Mesosaprobik atau Chlorococcales dan Diatomae

D : jumlah organisme penyusun kelompok Oligosaprobik atau Peridinae, Chryssophyceae dan Conjugatae.

### C. Sistem Diversitas (Indek Keanekaragaman Hayati)

Indek keanekaragaman hayati menyatakan besarnya komposisi dan struktur komunitas yang ada dalam suatu wilayah. Indek ini meliputi keanekaragaman spesies (*species diversity*) dan derajat perubahan komposisi makhluk hidup dalam suatu komunitas. Keanekaragaman dalam suatu sistem ekologi adalah karakteristik dari sistem yang dilihat dari bermacam-macam komponen yang ada didalamnya serta interaksinya dalam ruang dan waktu. Sedangkan *cenotic level* adalah tingkatan dari ekologi dimana kehidupan spesies tersebut mempunyai kesamaan dalam berperilaku

Penyusunan indeks kualitas perairan dengan parameter biologi berdasar pada dampak pencemaran terhadap kondisi kehidupan organisme perairan. Dasar penentuannya antara lain:

- Menentukan spesies indikator yang akan digunakan.
- Perhitungan besarnya perubahan populasi makhluk hidup dalam komunitas.
- Menentukan besarnya pengaruh parameter pengganggu terhadap keadaan fisiologi atau perilaku makhluk hidup perairan.

Struktur dasar penyusunan indeks biologi adalah seperti yang tergambar dalam gambar,  $X_1; X_2; \dots; X_i$  menyatakan jenis-jenis spesies yang ditemukan, sedangkan  $y_1; y_2; \dots; y_i$  menyatakan level, lokasi atau tempat ditemukannya spesies tersebut dalam suatu komunitas atau sistem ekologi.

		<i>Cenotic Level</i>				
		→				
S p e c i e s		$y_1$	$y_2$	$y_j$	$y_R$	
	$x_1$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{1j}$	$X_{1R}$	$X_1$
	$x_2$	$X_{21}$	$X_{22}$	$X_{2j}$	$X_{2R}$	$X_2$
	$x_i$	$X_{i1}$	$X_{i2}$	$X_{ij}$	$X_{iR}$	$X_i$
	$x_s$	$X_{s1}$	$X_{s2}$	$X_{sj}$	$X_{sR}$	$X_s$
		$X_1$	$X_2$	$X_j$	$X_R$	$X$

Gambar 1.1. Matrik Spesies dan *Cenotic Level*

$$X_i = \sum_j X_{ij}$$

$$X_j = \sum_i X_{ij}$$

$$X = \sum_i \sum_j X_{ij}$$

Indek biologi dikembangkan untuk memudahkan dalam menghubungkan populasi makhluk hidup dengan kondisi kualitas air yang ada. Indek-indek biologi tersebut antara lain:

**a. Indek Kemelimpahan Jenis**

Yaitu indek yang digunakan untuk menggambarkan komposisi jenis dalam komunitas.

$$D_i = \frac{n_i}{N} \times 100$$

$$D_i = p_i \times 100$$

Dimana :

$D_i$  = Indek Kemelimpahan dari jenis  $i$

$n_i$  = Jumlah individu jenis ke- $i$

$N$  = Jumlah total individu seluruh jenis

$p_i$  = Proporsi dan jumlah individu jenis  $i$  dengan jumlah individu

**b. Indek Keanekaragaman Jenis (*species diversity*)**

Indek Keanekaragaman atau *species diversity* adalah indek yang menggambarkan kestabilan komunitas, semakin tinggi keanekaragaman jenis komunitas maka semakin stabil. Indek keanekaragaman yang umum digunakan adalah indek Shanon-Wiener.

$$H' = - \sum \left\{ \frac{n_i}{N} \cdot \ln \left( \frac{n_i}{N} \right) \right\}$$

Di mana :

$H'$  = Indek keanekaragaman

$n_i$  = jumlah individu jenis ke- $i$

$N$  = Jumlah total individu seluruh jenis

Kriteria yang diberikan terhadap kualitas perairan berdasarkan nilai BOD, DO dan indek keanekaragaman akibat suatu pencemaran seperti yang tercantum dalam tabel

Tabel 1.1. Kriteria Kualitas Perairan

Derajat Pencemaran	H'	DO (mg/l)	BOD (mg/l)
Tidak Tercemar	>2	>6.5	<3.0
Tercemar Ringan	2.0-1.6	4.5-6.5	3.0-4.9
Tercemar Sedang	1.5-1.0	2.0-4.4	5.0-15.0
Tercemar Berat	<1.0	<2.0	>15.0

**c. Indek Pemerataan**

Yaitu indek untuk mengetahui pemerataan penyebaran individu yang dimiliki suatu jenis dalam suatu komunitas.

$$e = \frac{H'}{\ln S}$$

Dimana :

e = Indek pemerataan

H' = Indek keanekaragaman jenis

S = Jumlah spesies

Evaluasi terhadap nilai indek pemerataan dapat dilihat dalam tabel 1.2.

Tabel 1.2. Evaluasi Indek Pemerataan

Nilai Indek	Evaluasi Nilai Indek
<0.1	Sangat jelek
0.1-0.3	Jelek
0.3-0.6	Sedang
0.6-0.8	Baik

**d. Indek tingkat ekologi (*cenotic diversity*)**

*Cenotic diversity* adalah indek yang menggambarkan keberadaan spesies dalam beberapa tingkat ekologi.

$$H'y = -\sum Qj \cdot \ln Qj \quad H'y = -\sum Qj \cdot \ln Qj$$

Dimana :

H'y = *Cenotic diversity*

Qj = Keanekaragaman spesies I dalam berbagai level

Sedangkan persamaan untuk menghitung derajat perubahan lingkungan adalah menurut persamaan Stock dan Scheiner:

$$\Delta = \{V(x) + V(S) + V(n) + V(H'x) + V(H'y)\} / 5$$

$$V_m = (E_m - C_m) / (E_m + C_m)$$

Dimana :

$\Delta$  = Derajat perubahan makrozoobentos

x = Rata-rata seluruh spesies yang ditemukan

S = Jumlah jenis spesies yang ditemukan

H'x = *Species diversity* atau indek Keanekaragaman Shanon Wiener

$E_m$  = Nilai yang akan dibandingkan untuk parameter m dengan nilai lain.

Derajat perubahan komposisi organisme dalam suatu komunitas dapat dinyatakan dalam perubahan tiap waktu atau dibandingkan dengan daerah lain yang mempunyai kualitas tidak tercemar daripada lokasi studi.

#### D. Kriteria Mutu Lingkungan Perairan Berdasarkan Indek Biotik

Mutu lingkungan perairan dapat diklasifikasikan berdasarkan indikator biotik. Klasifikasi berdasarkan rujukan yang ada adalah sebagai berikut:

##### a. Berdasarkan Spesies Indikator

Dominasi kelompok organisme akuatik menurut konsep Leibmann memberikan indikasi tingkat saprobitas dan pencemaran perairan sebagai berikut :

Tabel 1.3. Tingkat Saprobitas dan Pencemaran Perairan

	Kelompok organisme akuatik	Tingkat Pencemaran Perairan
A	Biota Polisaprobik	Sangat Berat
B	Biota $\alpha$ Mesosaprobik	Berat
C	Biota $\beta$ Mesosaprobik	Sedang
D	Biota Oligosaprobik	Ringan

**b. Berdasarkan Indeks Saprobik (IS)**

Mutu lingkungan perairan didasarkan pada indeks saprobiknya adalah sebagai berikut :

Tabel 1.4 Kisaran Indeks Saprobitas dan Pencemaran Perairan

Kisaran indeks saprobik (IS)	Kriteria tingkat Cemaran Air
1.0 - 1.5	Ringan atau belum tercemar
>1.5 - 2.5	Sedang ( $\beta$ mesosaprobik)
>2.5 - 3.5	Berat ( $\alpha$ mesosaprobik)
>3.5 - 4.0	Sangat Berat (polisaprobik)

**c. Berdasarkan Nilai Gabungan Koefisien Saprobik dan Indeks Diversitas Shannon**

Kriteria mutu lingkungan perairan berdasarkan nilai gabungan dari koefisien saprobik (KS) dan indeks diversitas Shannon ( $H^{\wedge}$ ) serta indeks biologi akuatik (IBA) sesuai rujukan yang tersedia adalah sebagai berikut:

Tabel 1.5 Klasifikasi Dan Kriteria Kemantapan Berdasarkan Indeks Gabungan Koefisien Saprobik Dan Indeks Diversitas Shannon

KS	$H^{\wedge}$	IBA	Klasifikasi & kriteria kemantapan ekosistem perairan
> 1.50	>2.0	>75 - 100	A. Sangat Mantap, Tingkat Pencemaran sangat ringan
>0.5 - 1.5	>1.5 - 2.0	>50 - 75	B. Mantap, Tingkat Pencemaran ringan
-1.5 - 0.5	1.0 -1.5	25 -50	C. Kurang Mantap. Tingkat pencemaran berat
<-1.5	<1.0	<25	D. Tidak Mantap, tingkat pencemaran sangat berat

Keterangan :  $IBA = (KS + H^{\wedge}) / 4 \times 100\% \rightarrow 4 = \text{banyaknya klas}$

### E. Metode Penentuan Indeks Terestrial

Metode perhitungan indeks terestrial dapat dilakukan dengan cara mengetahui besarnya Indeks Nilai Penting tanaman.

Untuk mengetahui besarnya nilai penting dari vegetasi dihitung dengan menjumlahkan kerapatan relatif, frekuensi relatif dan dominansi relatif. Untuk menghitung frekuensi relatif (FR), kerapatan relatif (KR) dan dominansi relatif (DR) yang dinyatakan dengan luas bidang dasar dipakai rumus Cox (1967) sebagai berikut :

$$\text{Frekuensi} = \frac{\sum \text{titik pengambilan sampel dimana species terdapat}}{\text{Jumlah plot pada tiap transek}}$$

$$\text{FR} = \frac{\text{Nilai frekuensi tiap jenis}}{\text{Nilai frekuensi semua jenis}} \times 100\%$$

$$\text{Kerapatan} = \frac{\sum \text{species yang terdapat dalam titik pengambilan sampel}}{\text{Luas areal pengambilan sampel}}$$

$$\text{KR} = \frac{\text{Jumlah individu tiap jenis}}{\text{Jumlah individu semua jenis}} \times 100\%$$

Dominansi = Total basal area dari suatu species yang dihitung dari diameter pohon

$$\text{DR} = \frac{\text{Total basal area tiap jenis}}{\text{Total basal area semua jenis}} \times 100\%$$

$$\text{Indek Nilai Penting (INP)} = \text{KR} + \text{FR} + \text{DR}$$

### 1.2.2. Latihan

1. Jelaskan dan berikan contoh metode perhitungan indeks kemelimpahan, indeks keanekaragaman, dan indeks tingkat ekologi
2. Jelaskan metode perhitungan indeks terestrial dan contohnya

## 1.3. PENUTUP

### 1.3.1. Tes Formatif

1. Penilaian tingkat saprobitas perairan dengan perhitungan empirik berdasarkan kelimpahan jenis dan struktur komunitasnya. Disebut :
  - a. Penilaian tingkat saprobitas secara kualitatif
  - b. Penilaian tingkat saprobitas dengan pendekatan Indeks saprobik
  - c. Penilaian tingkat saprobitas secara kuantitatif
  - d. Penilaian tingkat saprobitas dengan pendekatan koefisien saprobik
2. Besarnya komposisi dan struktur komunitas yang ada dalam suatu wilayah disebut :
  - a. Indeks kemelimpahan hayati
  - b. Indeks keanekaragaman hayati
  - c. Indeks tingkat pemerataan
  - d. Indeks Saprobitas
3. Besarnya komposisi dan struktur komunitas yang ada dalam suatu wilayah disebut :

a. Tropic level	c. Cenotic level
b. Diversity level	d. Saprobit level
4. Berdasarkan hasil perhitungan indeks pemerataan suatu komunitas menghasilkan nilai sebesar 0,45. Hal ini menunjukkan penyebaran individu yang dimiliki suatu jenis dalam suatu komunitas tersebut :

a. Baik	c. sedang
b. Jelek	d. Sangat jelek
5. Untuk mengetahui besarnya nilai penting dari vegetasi dihitung dengan menjumlahkan :
  - a. Kerapatan relatif, frekuensi relatif dan dominansi relatif
  - b. Keanekaragaman relatif, dominansi relatif, dan kemelimpahan relatif

- c. Kerapatan relatif, frekuensi relative, dan keanekaragaman relatif
- d. frekuensi relative, dominansi relative, dan kelimpahan relatif

### **1.3.2. Umpan Balik**

Apabila semua jawaban anda benar berarti anda telah menguasai materi ini dengan baik dan apabila jawaban anda masih ada yang belum benar berarti anda masih kurang menguasai materi ini

### **1.3.3. Tindak Lanjut**

Bagi anda yang telah menguasai materi ini anda dapat melanjutkan ke sub pokok bahasan selanjutnya, sedangkan anda yang masih kurang menguasai materi ini maka anda harus mempelajari kembali materi ini dan dipahami dengan contoh-contoh konkrit di sekitar anda

### **1.3.4. Rangkuman**

Indek keanekaragaman hayati menyatakan besarnya komposisi dan struktur komunitas yang ada dalam suatu wilayah. Indek ini meliputi keanekaragaman spesies (*species diversity*) dan derajat perubahan komposisi makhluk hidup dalam suatu komunitas. Penyusunan indek kualitas perairan dengan parameter biologi berdasar pada dampak pencemaran terhadap kondisi kehidupan organisme perairan

### **1.3.5. Kunci Jawaban Tes Formatif**

1.C    2. B    3.C    4. C    5. A

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Helawell, J.M, 1986, Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management (Pollution Monitoring Series), Kluwer Academic Publishers
- Hoag, D.L., Ascough II, J.C., Keske-Handley, C.G., Koontz, L.R. 2005. "Decision making with environmental indices", EOLSS Publishers Co Ltd
- Inhaber, H, 1976 "Environmental Indices (Environmental Science and Technology Series), John Wiley & Sons

Ott, R.W, 1979, Environmental Indices: Theory and Practice, Ann Arbor  
Science Publishers

Pyhk, Yuri; Hyatt, D.R.; Lenz Roman J.L., 1999 "Environmental Indices:  
System Analysis Approach (Advances in Sustainable Development)  
EOLSS Publishers Co Ltd

**SENARAI**

Terrestrial : Daratan

# VII

## POKOK BAHASAN : INDEK RADIOAKTIF

### I.1 Sub Pokok Bahasan : Indek Radioaktif

#### 1.1. PENDAHULUAN

##### 1.1.1. Deskripsi

Sub pokok bahasan ini membahas tentang metode perhitungan indek radioaktif

##### 1.1.2. Relevansi

Sub Pokok Bahasan ini merupakan teori dasar indek radioaktif dan metode perhitungannya

##### 1.1.3. Kompetensi

###### a. Standar Kompetensi

Mahasiswa yang mempelajari sub pokok bahasan ini akan mampu memahami konsep dasar untuk menghitung besarnya suatu indek radioaktif berdasarkan data yang ada

###### b. Kompetensi dasar

Mahasiswa mampu :

1. Menjelaskan indek radioaktif secara teoritis
2. Menjelaskan dan memberikan contoh perhitungan indek radioaktif

#### 1.2. PENYAJIAN

##### 1.2.1. Uraian dan Penjelasan

Zat radioaktif dapat menimbulkan efek toksik karena adanya penyinaran  $\alpha$ ,  $\beta$  dan/atau  $\gamma$ . Pada kontak dari luar, sinar  $\alpha$  hanya, menyebabkan kerusakan pada epidermis karena sinar ini hanya mempunyai daya tembus yang relatif kecil. Sinar  $\beta$  yang memancarkan

sinar elektron, dapat menembus lapisan kulit yang lebih dalam, sinar  $\gamma$  dapat menyebabkan kerusakan yang sama seperti sinar rontgen.

Isotop radioaktif yang masuk ke dalam tubuh (sinar yang lebih lunak lebih aktif secara biologik) terutama merusak organ yang peka penyinaran seperti misalnya sumsum, tulang, dan juga dapat merusak tempat dimana tertimbun. Disamping menimbulkan kerusakan somatis, sinar ini dapat pula, menyebabkan kerusakan genetik dan dapat menimbulkan tumor ganas.

Diantara senyawa radioaktif, uranium mempunyai peran istimewa karena penggunaannya dalam pemisahan inti. Hal praktis yang terpenting adalah pemusnahan buangan radioaktif secara aman. Sinar  $\alpha$  plutonium yang di alam hanya terdapat dalam jumlah yang sangat kecil, dalam sirkulasi bahan bakar nuklir terjadi pada penembakan atom uranium dengan neutron. Karena waktu paruhnya yang panjang (24065 tahun) maka potensi bahayanya juga khusus. Setelah pemasukan ke dalam tubuh konsentrasi tertinggi ditemukan dalam hati dan tulang.

Stronsium (radiostronsium), pemancar sinar  $\beta$  dengan waktu paruh 28 tahun adalah produk yang paling berbahaya pada ledakan bom atom. Karena sifat kimianya yang berdekatan dengan kalsium, zat ini akan tertanam dalam tulang, yang khususnya berbahaya bagi remaja karena pada usia inilah terjadi pertumbuhan tulang yang ekstrim. Kerusakan parah akibat penyinaran akut (sekali) setelah periode laten beberapa jam sampai beberapa hari akan menyebabkan sakit kepala, lelah, muntah, perdarahan, dan diare. Pada dosis penyinaran yang mematikan, kematian akan terjadi setelah 10 hari. Pada pasien yang hidup, pada saat berikutnya akan terjadi trombopenia dan neutropenia, anemia, hemoragia, dan demam. Kerusakan lanjut yang mungkin timbul adalah terutama banyaknya kasus leukemia. Pada beban penyinaran berulang walaupun hanya sedikit efek akan berakumulasi. Karena itu pemeriksaan kedokteran nuklir dan rontgen hanya boleh dilakukan berdasarkan indikasi yang sudah jelas.

Terapi tumor ganas dengan isotop radioaktif merupakan varian dari terapi sinar biasa. Disini jaringan bukan disinari dari luar, akan tetapi sumber penyinaran dimasukkan ke dalam tubuh. Kerja maupun efek samping yang timbul sama. seperti setelah penyinaran rontgen akan tetapi dalam kasus-kasus tertentu dengan radioisotop akan dapat dilakukan penyinaran dengan lebih terarah.

Iod radioaktif (sinar  $\beta$  dan  $\gamma$  dengan waktu paruh 8 hari), senyawa ini dapat digunakan untuk penyinaran tumor kelenjar tiroid, karena kelenjar tiroid ini mempunyai afinitas yang tinggi terhadap iod dan dengan demikian dalam waktu singkat sebagian besar iod akan disimpan.

#### **A. Indeks Radioaktif**

Pelepasan zat radioaktif ke lingkungan dapat menyebabkan radiasi terhadap manusia. Radiasi dapat terjadi dengan berbagai model paparan, yang dapat digolongkan ke dalam 2 kelas, yaitu :

1. Internal (sumber radiasi masuk ke dalam tubuh, melalui inhalasi dan ingestion)
2. Eksternal (sumber radiasi di luar tubuh, misalnya kontak dengan lingkungan yang terkontaminasi, masuk ke dalam air yang terkontaminasi dan paparan terhadap permukaan yang terkontaminasi).

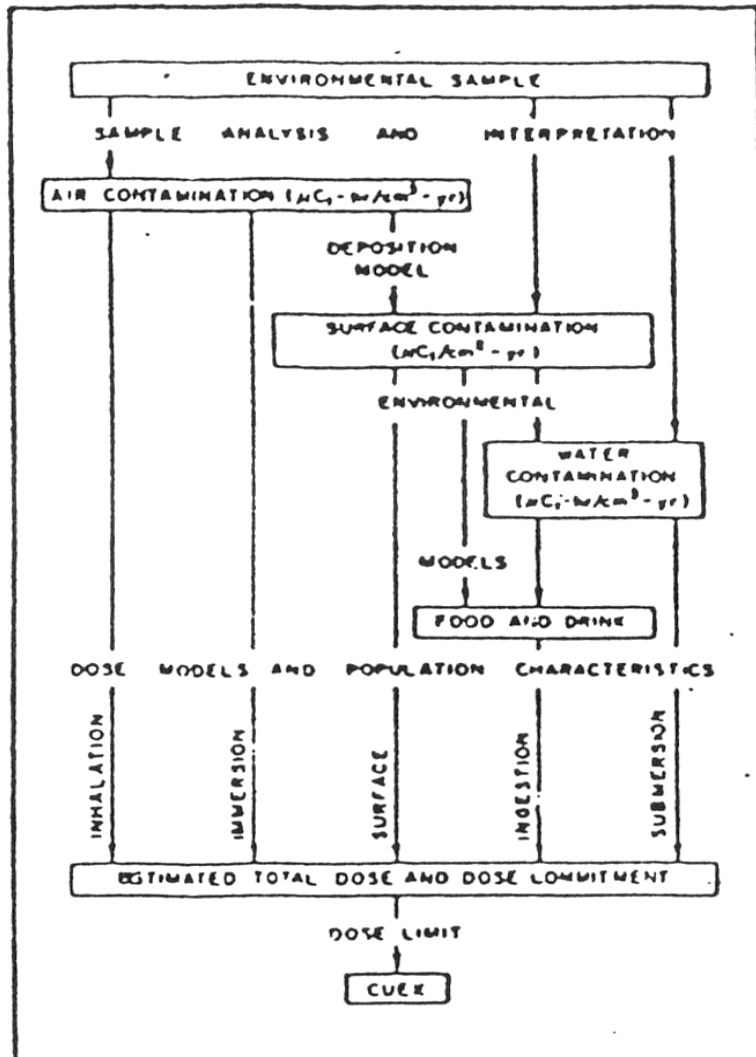
Dalam setiap model paparan harus diperhatikan berapa banyak dosis yang diperbolehkan untuk dilepaskan, sehingga tidak terjadi pembebanan lingkungan

Konsep CUEX (Cumulative Exposure index) atau indeks paparan kumulatif dapat digunakan untuk menghitung dosis radiasi terhadap manusia sebagai Akibat dari pelepasan radioaktif ke lingkungan. Secara definisi, CUEX dapat diartikan sebagai petunjuk numerik yang menggambarkan angka relatif (dosis taksiran terukur dibagi dosis maksimum) untuk pengukuran radioaktivitas lingkungan, yang dihitung dari dosis total pada manusia untuk seluruh radionuklida dan kedua model paparan. Tujuan pengembangan konsep ini adalah untuk mengukur pelepasan radionuklida pada waktu tertentu di dalam media sampel lingkungan yang cocok. Pengukuran dapat dilakukan terhadap udara, air atau permukaan tanah. Karena standar yang dianjurkan ditulis dalam bentuk unit dosis, maka konsep CUEX menambahkan faktor model lingkungan dan model dosis untuk merubah pengukuran konsentrasi radionuklida di lingkungan menjadi pengukuran radiasi pada manusia.

Gambar 1.1 menunjukkan struktur umum konsep CUEX, Mulai dari bagian atas gambar, sampel lingkungan dianalisis untuk mengukur pemasukan radionuklida ke dalam lingkungan pada waktu tertentu. Input tersebut diukur dalam unit  $\mu$  Ci-hr/cm<sup>3</sup>-yr

untuk kontaminasi air dan udara, sedangkan untuk mengukur kontaminasi permukaan ditulis dalam unit  $\mu\text{Ci}/\text{cm}^2\text{-yr}$

Kontribusi dari kelima model paparan terhadap dosis total dapat dilihat pada bagian bawah gambar .



Gambar 1.1. Konsep CUEX

## B. Cara perhitungan CUEX

Indeks paparan kumulatif (CUEX) untuk radionuklida yang dilepaskan ke lingkungan dapat dihitung sebagai berikut :

$$CUEX_j = \sum_{i=1}^n \frac{E_{ik}}{DLEC_{ijk}}$$

dimana:

$CUEX_j$  = petunjuk numerik yang menggambarkan angka relatif (dosis taksiran terukur dibagi dosis maksimum) untuk pengukuran radioaktifitas lingkungan yang dihitung dari dosis total pada manusia untuk seluruh radionuklida dan kedua model paparan.

$E_{ik}$  = konsentrasi pada waktu tertentu ( $\mu$  Ci-hr/cm<sup>3</sup>-yr) untuk radionuklida ke-i dalam medium sampling lingkungan ke-k

$DLEC_{ijk}$  = konsentrasi pada waktu tertentu dari radionuklida ke-i ( $\mu$  Ci-hr/cm<sup>3</sup>-yr) yang berada pada medium sampling lingkungan ke-k yang diukur untuk dosis organ ke-j, melalui semua model paparan. Sama dengan dosis maksimum tahunan untuk organ tersebut.

Perhitungan CUEX dengan keadaan paparan seperti di atas melibatkan nilai DLEC (konsentrasi dosis maksimum) dan E (konsentrasi radionuklida pada waktu tertentu dalam sampel medium lingkungan untuk setiap radionuklida).

## C. Aplikasi CUEX

Pelepasan radioaktif bervariasi dari pabrik nuklir tertentu ke pabrik lainnya dan dari tempat tertentu ke tempat lainnya, faktor-faktor lingkungan juga mempengaruhi penyebaran dan bioakumulasi radioaktifitas yang berbeda untuk setiap situasi. Sama halnya dengan faktor demografi yang mempengaruhi dosis terhadap manusia, oleh karena itu penting untuk menghitung DLEC bagi setiap tipe pelepasan pada tempat-tempat tertentu.

### **1.2.2. Latihan**

1. Jelaskan dan berikan contoh metode perhitungan indeks radioaktif

### **1.3. Penutup**

#### **1.3.1. Tes Formatif**

1. Agar tidak terjadi pembebanan lingkungan, dalam setiap model pemaparan harus diperhatikan adalah :
  - a. Banyaknya konsentrasi yang boleh dilepaskan
  - b. Banyaknya massa yang boleh dilepaskan
  - c. Banyaknya debit yang boleh dilepaskan
  - d. Banyaknya dosis yang boleh dilepaskan
2. Pada konsep CUEX selain menambahkan faktor model lingkungan untuk merubah pengukuran konsentrasi radionuklida di lingkungan menjadi pengukuran radiasi pada manusia adalah :
  - a. Model konsentrasi
  - b. Model dosis
  - c. Model radioaktifitas
  - d. Model radiasi
3. Dalam penentuan indeks radioaktif selain konsentrasi radionuklida tertentu yang diukur juga dilakukan pengukuran :
  - a. Konsentrasi di lokasi lain
  - b. Dosis dalam organ
  - c. Dosis di lingkungan
  - d. Konsentrasi sampel lain

#### **1.3.2. Umpan Balik**

Apabila semua jawaban anda benar berarti anda telah menguasai materi ini dengan baik dan apabila jawaban anda masih ada yang belum benar berarti anda masih kurang menguasai materi ini

#### **1.3.3. Tindak Lanjut**

Bagi anda yang telah menguasai materi ini anda dapat melanjutkan ke sub pokok bahasan selanjutnya, sedangkan anda yang masih kurang menguasai materi ini maka anda harus mempelajari kembali materi ini dan dipahami dengan contoh-contoh konkrit di sekitar anda

#### **1.3.4. Rangkuman**

Dalam setiap model pemaparan harus diperhatikan berapa banyak dosis yang diperbolehkan untuk dilepaskan, sehingga tidak terjadi pembebanan lingkungan. Konsep CUEX (*Cumulative Exposure index*) atau indeks pemaparan kumulatif dapat digunakan untuk menghitung dosis radiasi terhadap manusia sebagai Akibat dari pelepasan radioaktif ke lingkungan.

#### **1.3.5. Kunci Jawaban Tes Formatif**

1.D      2. B      3.B

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Hoag, D.L., Ascough II, J.C., Keske-Handley, C.G., Koontz, L.R. 2005. "Decision making with environmental indices", EOLSS Publishers Co Ltd
- Inhaber, H, 1976 "Environmental Indices (Environmental Science and Technology Series), John Wiley & Sons
- Ott, R.W, 1979, Environmental Indices: Theory and Practice, Ann Arbor Science Publishers
- Pyhk, Yuri; Hyatt, D.R.; Lenz Roman J.L., 1999 "Environmental Indices: System Analysis Approach (Advances in Sustainable Development) EOLSS Publishers Co Ltd

#### **SENARAI**

Dosis : Besar kecilnya jumlah suatu zat