

RISIKO PAJANAN LOGAM BERAT PADA AIR SUNGAI

Muhammad Pahrudin

Poltekkes Kemenkes Banjarmasin Jurusan Kesehatan Lingkungan
Jl. H. Mistar Cokrokusumo No.1A Banjarbaru Kalimantan Selatan 70714
E-mail: pahrudin.as@gmail.com

Abstract: Exposure risk of heavy metals on river water. River water is still used by the society as the primary source of drinking water although some rivers have been polluted by industry activities. The purpose of this research is to assess exposure risk of heavy metals which is contained in river water. In achieving the purpose, it conducted the measurement of insitu parameter as temperature, DO, turbidity and pH, mercury rate, manganese, cadmium, and chromium of 6 valence in 2 sample collecting points in Tabatan river, in headwaters and downstream of Desa Buas Buas and Sawaja Kecamatan Candi Laras Utara Kabupaten Tapin. The result of measurement is analyzed to predict exposure risk of heavy metals in river water consumed by people around the river. Exposure risk counts the intake (I). Hazard Index concluded that the control is necessary toward the exposure risk. The result of the research showed that only Manganese (Mn) is detected and exceed the limit. The value of I in age group of 1-<5 in headwaters is 0,025154 and in downstream is 0,066077, while in adult group in headwaters is 0,012111 and in downstream is 0,031815 mg/kg-day. The value of HI resulted from calculation show $HI < 1$, it can be concluded that intake rate of Manganese (Mn) of the river water is still under reference dose (RfD) that means the exposure risk is safe.

Keywords: risk; exposure; heavy metals; river water.

Abstrak: Risiko Paparan Logam Berat Pada Air Sungai. Air sungai masih digunakan oleh masyarakat sebagai bahan baku air minum padahal beberapa sungai sudah tercemar akibat aktifitas industri. Penelitian ini bertujuan menilai risiko paparan logam berat yang terkandung dalam air sungai. Dilakukan pengukuran parameter *insitu* seperti; suhu, DO, kekeruhan dan pH, kadar merkuri, mangan, cadmium dan khromium valensi 6 pada 2 titik pengambilan sampel di Sungai Tabatan, yaitu di bagian hulu dan hilir Desa Buas Buas dan Sawaja Kecamatan Candi Laras Utara Kabupaten Tapin. Hasil pengukuran kemudian dianalisis untuk memperkirakan risiko paparan logam berat pada air sungai yang dikonsumsi oleh masyarakat sekitar sungai. Risiko paparan dengan menghitung asupan (I), Hazard Indeks (HI) kemudian menyimpulkan perlunya pengendalian terhadap risiko paparan tersebut. Hasil penelitian menunjukkan hanya logam Mangan (Mn) yang terdeteksi dan melebihi ambang batas, Nilai I pada golongan umur 1 - <5 tahun pada bagian hulu sungai 0,025154 dan bagian hilir sungai 0,066077, sedangkan untuk golongan dewasa bagian hulu 0,012111 dan bagian hilir 0,031815 mg/kg-hari. Nilai HI hasil perhitungan menunjukkan $HI < 1$ sehingga disimpulkan bahwa tingkat asupan logam Mangan (Mn) dari air sungai masih dibawah dosis referensinya (RfD) yang artinya batas paparan masih aman.

Kata Kunci: Risiko; paparan; logam berat; air sungai

PENDAHULUAN

Komponen lingkungan yang penting bagi kehidupan adalah air, makhluk hidup di muka bumi ini tak dapat terlepas dari kebutuhan akan air. Air merupakan kebutuhan utama bagi proses kehidupan di bumi, sehingga tidak ada kehidupan seandainya di bumi tidak ada air. Namun demikian, air dapat menjadi malapetaka

bilamana tidak tersedia dalam kondisi yang benar, baik kualitas maupun kuantitasnya. Air bersih sangat didambakan oleh manusia, baik untuk keperluan hidup sehari-hari, untuk keperluan industri, untuk kebersihan sanitasi kota, maupun untuk keperluan pertanian, perkebunan,

perumahan, industri, pariwisata dan lain sebagainya [1].

Dewasa ini, air menjadi masalah yang perlu mendapat perhatian yang serius. Untuk mendapat air yang baik sesuai dengan standar tertentu, saat ini menjadi barang yang mahal, karena air sudah banyak tercemar oleh bermacam-macam limbah dari berbagai hasil kegiatan manusia. Sehingga secara kualitas, sumberdaya air telah mengalami penurunan. Demikian pula secara kuantitas, yang sudah tidak mampu memenuhi kebutuhan yang terus meningkat [2].

Pencemaran air saat ini terjadi dimana-mana, krisis air juga terjadi di dimana-mana, secara umum krisis air terjadi akibat pencemaran limbah cair industri, rumah tangga ataupun pertanian. Selain merosotnya kualitas air akibat pencemaran, krisis air juga terjadi akibat berkurangnya ketersediaan air dan terjadinya erosi akibat pembabatan hutan di hulu serta perubahan pemanfaatan lahan di hulu dan hilir. Menyusutnya pasokan air pada beberapa sungai besar di Kalimantan menjadi fenomena yang mengerikan, sungai-sungai tersebut mengalami pendangkalan akibat minimnya air pada saat kemarau serta ditambah erosi dan sedimentasi [3]

Di Kalimantan Selatan krisis air terutama disebabkan oleh kegiatan tambang terutama tambang batubara dan oleh kegiatan perkebunan sawit, kedua kegiatan tersebut sangat marak diusahakan di Provinsi Kalimantan Selatan ini. Kegiatan pertambangan menyebabkan tercemarnya kualitas air dari segi kimia, yaitu logam-logam, karena aktifitas tambang membongkar lapisan-lapisan batuan di dalam tanah yang didalamnya banyak terkandung logam, seperti Besi (Fe), Mangan (Mn) dan logam-logam berat lainnya. Sedangkan kegiatan perkebunan lebih spesifik menyebabkan terjadinya pencemaran air oleh sisa pupuk dan pestisida [3]

Segala bentuk pencemaran tidak mengenal batas administratif begitu juga dengan pencemaran air sungai karena sungai yang mengalir biasanya melintasi

beberapa wilayah kabupaten atau bahkan lintas provinsi, sehingga walaupun di suatu daerah tidak terdapat suatu aktifitas yang menyebabkan pencemaran air (misalnya tambang) tetap badan airnya berpotensi untuk tercemar. Pencemaran air di banyak wilayah, telah mengakibatkan terjadinya krisis air bersih, lemahnya pengawasan oleh instansi terkait menjadikan problem pencemaran air menjadi hal yang kronis yang makin lama makin parah, walaupun perangkat untuk melakukan pengawasan dari suatu kegiatan telah ada seperti adanya dokumen AMDAL.

Penelitian ini dilaksanakan di Wilayah Kecamatan Candi Laras Utara pada Desa Buas Buas dan Desa Sawaja yaitu pada Sungai Tabatan. Adapun Luas wilayah Kecamatan Candi Laras Utara 730,48 Km² atau 27,05% dari luas wilayah Kabupaten Tapin dengan jumlah penduduk 16.830 jiwa atau kepadatan penduduk 23 jiwa/Km².

Menurut data dari Puskesmas Candi Laras Utara dari tahun 2013-2015, penyakit terbesar umumnya didominasi oleh kasus penyakit yang berbasis lingkungan yaitu ISPA, diare, dan infeksi akut lain pada saluran pernapasan bagian atas. Data status kesehatan penduduk yang dikumpulkan secara langsung menunjukkan bahwa penyakit yang sering diderita warga masyarakat adalah ISPA dengan gejala batuk (51,5 %), pencernaan (32,5 %), gejala malaria; demam menggigil (2,5%) dan sisanya (13,5%) penyakit lainnya. Penyakit yang dikeluarkan oleh masyarakat tersebut adalah penyakit yang berbasis lingkungan, terutama yang berhubungan dengan kualitas udara dan kualitas air [4]. Dari data tersebut terlihat penyakit diare masih menjadi permasalahan, penyakit diare ini selain disebabkan oleh agent biologis berupa bakteri, bisa juga merupakan gejala yang non spesifik dari terjadinya keracunan oleh logam di dalam air.

Potensi pencemaran logam di air Sungai Tabatan cukup besar, mengingat sungai ini merupakan sungai yang melewati sebagian besar wilayah di

Kabupaten Tapin khususnya di Kecamatan Candi Laras Utara yang terdapat aktifitas tambang dan sawit, sedangkan aktifitas lokal di Kecamatan Candi Laras Utara sendiri yang potensial mencemari adalah pembuangan limbah rumah tangga. Oleh karena itu diperlukan penelitian terhadap asupan logam melalui paparan air sebagai deteksi dini untuk mencegah terjadinya keracunan yang lebih meluas.

Secara umum kesimpulan dari penilaian kadar bahan pencemaran di lingkungan, baik air maupun udara adalah berdasarkan perbandingannya dengan baku mutu saja dan tidak memperhatikan tingkat asupan atas bahan pencemar tersebut secara aktual, sehingga penelitian ini akan lebih baik karena tidak hanya memperhitungkan jumlah bahan pencemar yang masuk ke tubuh, melainkan faktor karakteristik individu seperti; umur, berat dan berat badan juga diperhitungkan.

BAHAN DAN CARA PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Desa Buas Buas dan Desa Sawaja Kecamatan Candi Laras Utara Kabupaten Tapin Provinsi Kalimantan Selatan, dengan subyek penelitian pencemaran logam-logam pada badan air Sungai Tabatan di Desa Buas Buas dan Desa Sawaja Kecamatan Candi Laras Utara dan penduduk yang bermukim di wilayah Kecamatan tersebut. Kualitas air meliputi parameter fisik dan kimia termasuk logam-logam sebagian diukur secara

insitu langsung di lapangan dan sebagiannya lagi diambil sampelnya dan dianalisis di laboratorium. Populasi dan sampel penduduk berisiko adalah semua penduduk di wilayah administratif Desa Buas Buas dan Desa Sawaja Kecamatan Candi Laras Utara Kabupaten Tapin, spesifik pada penduduk yang bermukim di sepanjang Sungai Tabatan.

Data gangguan kesehatan dikumpulkan secara *cross sectional* pada penduduk berisiko. Data yang dikumpulkan mencakup pola penyakit umum dan penyakit yang diduga berhubungan kadar logam di dalam air. Data ini digunakan untuk mencari indikasi awal gangguan pencemaran logam terhadap kesehatan yang aktual. Karakteristik penduduk yang diteliti adalah pola antropometrinya mencakup; berat badan, umur, volume air minum yang dikonsumsi dan lama paparan. Data ini digunakan untuk karakterisasi dan pengelolaan risiko.

Karakteristik risiko kesehatan pencemaran logam ditentukan sebagai efek nonkarsinogenik yang bersifat sistemik. Karakteristik risiko ditegakkan dengan menggabungkan hasil analisis paparan (*exposure assesment*) dengan analisis dosis-respons (*dose-respons assesment*). Analisis paparan yang disebut juga “nilai kontak” digunakan untuk menghitung dosis atau jumlah risk agent (logam) yang diterima individu yang dinyatakan sebagai asupan atau Intake (I), dihitung menggunakan persamaan:

$$I = \frac{CRt_e f_e D}{W_b t_{avg}} \dots\dots\dots (1)$$

- I = Asupan (intake), jumlah risk agent yang masuk[(mg/(kg-hari)]
- C = Konsentrasi risk agent (logam di air) (mg/l)
- R = Laju rate asupan; 1 liter/hari (untuk anak) dan 2 liter/hari untuk dewasa
- f_e = Frekuensi paparan tahunan (hari/tahun)
- t_e = Waktu paparan harian (jam/hari)
- Dt = Durasi paparan, real time atau 30 tahun proyeksi (tahun)
- W_b = Berat badan (kg)
- t_{avg} = Periode waktu rata-rata, 30 tahun x 365 hari/tahun (karsinogenik)

Dalam analisis dosis-respon, informasi toksisitas dievaluasi secara kuantitatif untuk mengidentifikasi efek-efek merugikan sebagai fungsi paparan. NOAEL (*no observed adverse effect level*)

atau LOAEL (*lowest adverse effect level*) sebagai *critical toxic effect* digunakan untuk menentukan *Reference Dose oral* (Rf D_o atau Rf C), dihitung dengan persamaan: [1][5].

$$RfD = \frac{\text{NOAEL atau LOAEL}}{(UF_1 \times UF_2 \times UF_3 \times UF_4 \times MF)} \dots\dots\dots (2)$$

UF adalah *uncertainly factor* (factor ketidakpastian) dan MF adalah *modifying*

factor, berupa angka-angka tanpa satuan dengan ketentuan sebagai berikut :

- UF₁ = 10 untuk variasi sensitivitas dalam populasi manusia
- UF₂ = 10 untuk ekstrapolasi toksisitas dari hewan ke manusia
- UF₃ = 10 bila NOAEL diturunkan dari uji hayati subkronik (bukan kronik)
- UF₄ = 10 bila LOAEL digunakan menggantikan NOAEL

0<MF<10 sebagai *professional judgement* terhadap kualitas dan kelengkapannya studi toksisitas. Selanjutnya, dengan nilai I dan RfD besar risiko dinyatakan sebagai *Noncancer*

Hazard Index (HI), yaitu perbandingan tingkat paparan selama waktu paparan yang sama. HI dihitung dengan persamaan:

$$\text{Noncancer Hazard Index} = \frac{I}{RfD} \dots\dots\dots (3)$$

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Karakteristik penduduk sebagai sampel *population at risk* diwakili oleh dua parameter antropometri, yaitu berat

badan dan lama tinggal. Hasil pengukuran berat badan dan lama tinggal disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Parameter karakteristik (dengan nilai rata-rata) penduduk dalam dua kelompok yang bertempat tinggal di lokasi studi

Karakteristik Antropometri	Anak 1 – <5 Tahun		Dewasa	
	Hulu	Hilir	Hulu	Hilir
Berat Badan (kg)	13	13	54	54
Lama Tinggal (hari/tahun)	350	350	350	350

Besar intake air minum, digunakan nilai *default*, yaitu untuk anak-anak dengan berat badan rata-rata 10 kg adalah 1 liter/hari, sedangkan untuk ora-

ng dewasa sampai dengan berat badan 70 kg adalah 2 liter/hari.

Hasil pengukuran analisis kadungan logam di 2 (dua) lokasi yang dipilih di wilayah studi disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Kualitas Badan Air Sungai Tabatan Desa Buas Buas dan Desa Sawaja Kecamatan Candi Laras Utara Kabupaten Tapin

Parameter	Lokasi Sampling		Baku mutu*)
	Hulu	Hilir	
Parameter Non Logam			
Temperatur, °C	28,0	28,1	Deviasi 3°
Derajat keasaman, pH	4,70	3,34	6 – 9
DO, mg/liter	1,88	2,48	6
BOD, mg/liter	1,74	1,04	2
COD, mg/liter	55,2	20,1	10
Parameter Logam			
Merkuri (Hg), mg/liter	ttd	ttd	0,001
Mangan (Mn), mg/liter	0,327	0,859	0,1
Kadmium (Cd), mg/liter	ttd	ttd	0,01
Krom valensi 6 (Cr ⁺⁶), mg/liter	ttd	ttd	0,05

*) Per. Gub. Kalsel No. 05 Tahun 2007 Baku Mutu Air Kelas I

Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2, perhitungan paparan logam hanya dilakukan untuk logam Mangan (Mn)

dengan menggunakan Persamaan (1). Hasil perhitungan *intake* logam disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Ringkasan Nilai Intake logam (mg/kg-hari) menurut kelompok umur dan tempat tinggal di lokasi studi

Parameter / Kelompok Umur	Lokasi	
	Hulu	Hilir
Mangan (Mn)		
1 – <5 Tahun	0,025154	0,066077
Dewasa	0,012111	0,031815

Nilai kuantitatif toksisitas yang dibutuhkan untuk karakterisasi risiko adalah NOAEL atau LOAEL. Kuantitas toksisitas ini dapat berasal dari hasil *bioassay* (menggunakan hewan uji), studi epidemiologi, laporan kasus-kasus klinik, atau studi *structure-reactivity relationship*. Namun, untuk kebanyakan zat kimia toksik NOAEL atau LOAEL yang dihasilkan uji hayati lebih diutamakan karena hubungan dosis – efeknya lebih pasti. Dalam pengembangan dosis – respons ini, sejak paruh pertama tahun 1990-an

berkembang pula teknik epidemiologi molekuler untuk mempelajari hubungan keaktifan biologis dengan struktur molekuler, khususnya untuk senyawa-senyawa karsinogen yang dapat membentuk *DNA-adduct* atau *protein-adduct*.

Bukti epidemiologis efek logam-logam terhadap kesehatan cukup banyak terdokumentasi. Sehingga nilai *RfD* untuk logam-logam di dalam air sudah tersedia (Persamaan 2) [6].

Tabel 4. Indeks Toksisitas beberapa bahan kimia pencemar air

Parameter	RfD (mg/kg-hari)
Arsen, Ar	$3,00 \cdot 10^{-4}$
Cadmium, Cd	$5,00 \cdot 10^{-4}$
Chrom total, Cr	$1,00 \cdot 10^{+0}$
Chrom valensi 6	$3,00 \cdot 10^{-3}$
Cobalt, Co	$2,90 \cdot 10^{-4}$
Cyanida, CN (bebas)	$2,00 \cdot 10^{-2}$
Mangan, Mn	$1,40 \cdot 10^{-1}$
Merkuri, Hg	$3,00 \cdot 10^{-4}$

Dari dua variabel *noncancer hazard index* (HI) seperti dirumuskan dalam Persamaan 3, telah tersedia nilai-nilai

asupan (*intake*) *ingested*, dan variabel RfD, sehingga dapat ditentukan *Hazard Indeks* (HI) untuk logam Mangan (Mn).

Tabel 5. *Noncancer hazard index* (HI) pajanan logam pada penduduk menurut tempat tinggal dan kelompok umur di lokasi studi

Risk Agent	Hulu		Hilir	
	1 - <5	Dewasa	1 - <5	Dewasa
Mn	0,18	0,09	0,47	0,23

Pada Tabel 2 di atas terlihat sebagian besar parameter kualitas air di wilayah studi yang diukur masih berada dibawah ambang batas (memenuhi persyaratan) baku mutu. Parameter yang tidak memenuhi persyaratan untuk seluruh lokasi pengamatan adalah pH, oksigen terlarut, COD, dan Mangan (Mn).

Rendahnya kandungan oksigen terlarut dan tingginya nilai COD pada perairan di lokasi pengamatan diduga berhubungan dengan tingginya kandungan bahan organik, baik berasal dari tumbuhan maupun hewan yang mati dan masuk ke badan air. Pada proses dekomposisi bahan organik diperlukan oksigen terlarut baik secara kimia maupun biologis sehingga oksigen di perairan akan berkurang dan akan dihasilkan berbagai macam senyawa kimia diantaranya adalah amoniak, nitrit dan nitrat (terutama bagi bahan organik mengandung N), sulfat dan sulfida untuk bahan organik yang mengandung senyawa sulfur. Jumlah oksigen yang diperlukan untuk merombak bahan organik secara biologis diukur dengan nilai BOD sedangkan keperluan oksigen untuk merombak bahan organik secara

kimia diukur dengan nilai COD. Sehingga semakin banyak bahan organik yang dirombak, maka akan semakin besar nilai BOD dan COD perairan tersebut dan semakin banyak oksigen yang diperlukan sehingga kandungan oksigen terlarut di perairan semakin berkurang. Sehingga dengan bahan organik yang tinggi menyebabkan nilai BOD dan COD juga tinggi, dan sebaliknya kandungan oksigen terlarut menjadi rendah dan tidak memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan. Berdasarkan nilai BOD yang masih memenuhi baku mutu dan nilai COD yang melampaui baku mutu, maka dapat diketahui bahwa perombakan bahan organik lebih banyak berlangsung secara kimia [7].

Senyawa mangan terdapat secara alami di lingkungan sebagai padatan dalam tanah, partikel kecil di dalam air, serta partikel debu di udara. Manusia meningkatkan konsentrasi mangan di udara oleh kegiatan industri dan melalui pembakaran bahan bakar fosil. Mangan yang berasal dari aktivitas manusia juga dapat meresap ke air permukaan, air tanah, dan air limbah. Mangan merupakan komponen penting pada hewan dan

menyusun tiga puluh enam enzim yang digunakan untuk metabolisme karbohidrat, protein, dan lemak. Hewan yang kekurangan asupan mangan akan mengalami gangguan pertumbuhan, gangguan pembentukan tulang, dan gangguan reproduksi. Namun, dosis mangan yang terlalu tinggi bisa memicu masalah paru-paru, hati, gangguan pembuluh darah, penurunan tekanan darah, kegagalan perkembangan janin, dan kerusakan otak [8].

Karakteristik risiko yang tercantum dalam Tabel 3 menunjukkan bahwa indeks bahaya nonkanker sebagai ukuran tingkat risiko logam mangan (Mn) masih berada di bawah angka 1; artinya dosis referensi belum dilampaui.

Meskipun tingkat risiko secara kuantitatif telah dapat dirumuskan, studi ini memiliki sejumlah keterbatasan, yaitu sampel sebagai subyek studi belum diambil dengan jumlah yang benar sesuai dengan *sample frame*-nya. Namun demikian, survai kepada anak balita tidak untuk mencari efek polutan terhadap kesehatan tetapi untuk mencari variabel antropometri. Dengan demikian jumlah sampel tidak banyak mempengaruhi tingkat risiko.

Prinsip analisis risiko menyatakan bahwa tuntutan akan pengelolaan risiko menjadi besar apabila $HI > 1$. Pengendalian bisa dilakukan dengan berbagai cara, tetapi yang dapat dirumuskan secara kuantitatif adalah dengan melakukan regulasi. Regulasi berarti menetapkan standar atau baku mutu dengan mengubah *RfD* menjadi *RgD* (*Regulatory Dose*). *RgD* digunakan untuk intake berupa makanan atau minuman dan biasanya dinyatakan juga sebagai *MCL* (*maximum contaminant level*).

Namun berdasarkan nilai HI pada tabel 5, maka pengelolaan risiko pada air sungai Tabatan Kecamatan Candi Laras Utara Kabupaten Tapin tidak perlu dilakukan karena masih aman sehingga jumlah asupan amannya pun tidak perlu dihitung atau ditentukan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian terlihat bahwa sebagian besar parameter kualitas air di wilayah studi yang diukur masih berada dibawah ambang batas (memenuhi persyaratan) baku mutu. Parameter yang tidak memenuhi persyaratan untuk seluruh lokasi pengamatan adalah pH, oksigen terlarut, COD, dan Mangan (Mn).

Rendahnya kandungan oksigen terlarut dan tingginya nilai COD pada perairan di lokasi pengamatan diduga berhubungan dengan tingginya kandungan bahan organik, baik berasal dari tumbuhan maupun hewan yang mati dan masuk ke badan air.

Secara keseluruhan tingkat asupan logam Mangan (Mn) dari air Sungai Tabatan di Desa Buas Buas dan Desa Sawaja Kecamatan Candi Laras Utara Kabupaten Tapin masih dibawah dosis referensinya (*RfD*), sehingga menghasilkan angka *Hazard indeks* (HI) dibawah angka 1 yang artinya batas paparan masih aman.

Berdasarkan hasil-hasil analisis risiko dan pembahasannya peneliti menyarankan agar penelitian ini dapat dilakukan sesering mungkin pada jalur sungai lainnya apalagi bila sungai tersebut menjadi akhir pembuangan limbah industri dan terlebih lagi apabila air sungai tersebut digunakan sebagai bahan baku pengolahan air minum.

KEPUSTAKAAN

1. Basri S, Bujawati E, Amansyah M. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan. J Kesehat. 2014;VII(2):427-42.
2. Hakim DL. Aksesibilitas Air Bersih Bagi Masyarakat Di Permukiman Linduk Kecamatan Pontang Kabupaten Serang. Universitas Diponegoro Semarang; 2010.
3. Batulicin F. Kualitas air sungai di kalimantan selatan menurun [Internet]. 2011 [cited 2016 Nov 12]. Available from: <http://www.fokusbatulicin.com/201>

- 1/04/kualitas-air-sungai-di-kalimantan.html
4. Puskesmas Candi Laras Utara. Laporan Tahunan Puskesmas Candi Laras Utara Tahun 2015. Rantau; 2015.
 5. US-EPA, Description and Use in Health Risk Assesment, Background Document 1A, 1997, <http://www.epa.gov/iris>.
 6. Duah DKA. Hazardous Waste Risk Assessment. Lewis Publishers; 1993.
 7. Warlina, Lina. Pengaruh Waktu Inkubasi BOD Pada Berbagai Limbah, FMIPA Universitas Indonesia. Jakarta; 1985.
 8. Wardhana, Wisnu Aria. Dampak Pencemaran Lingkungan, Penerbit Andi Offset Jogyakarta; 1995.