

OP-09

KEMAMPUAN PEMBERSIHAN DIRI ALAMIAH (*SELF PURIFICATION*) SUNGAI BATANG ANTOKAN DITINJAU DARI PARAMETER ORGANIK

Reri Afrianita*², Puti Sri Komala², Rafna Mustika W¹

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Andalas

²Dosen Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Andalas

*Email: rerianita@ft.unand.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis self purification Sungai Batang Antokan ditinjau dari parameter organik pada musim hujan dan musim kemarau. Parameter yang diukur adalah DO, BOD, dan COD. Lokasi penelitian dilakukan mulai dari outlet Danau Maninjau hingga Jorong Kayu Gadang 2 yang berjarak 27 km. Parameter kualitas perairan Sungai Batang Antokan yang telah melampaui baku mutu kelas 2 adalah TSS 130 mg/L, COD 432 mg/L, BOD₅ 25,09 mg/L, nitrit 0,54 mg/L, posfat 0,65 mg/L, dan logam kadmium 0,631 mg/L. Tingkat pencemaran organik DO, BOD, dan COD di Sungai Batang Antokan menurut metode indeks pencemaran ditetapkan sebagai tercemar ringan pada musim hujan dan tercemar sedang pada musim kemarau. Kontribusi beban pencemar organik akibat limbah permukiman sebesar 134,526 ton BOD₅ /tahun dan 258,261 ton COD /tahun, sedangkan keramba sebesar 751,450 ton limbah organik /tahun. Kisaran nilai koefisien deoksigenasi (k_1) di sepanjang Sungai Batang Antokan berkisar antara 0,166 - 2,165 /hari, nilai koefisien reaserasi (k_2) berkisar antara 1,416 - 13,702 /hari dan rasio purifikasi (k_2/k_1) antara 2,826 - 66,549, memperlihatkan air sungai memiliki kecepatan penggunaan oksigen setara untuk aliran limbah dengan tingkat pencemaran sedang hingga tinggi dan kecepatan rearasi setara aliran sungai deras sehingga mampu mendegradasi pencemar yang masuk ke perairan secara alamiah meskipun beban pencemar BOD dan COD telah melewati batas pencemaran.

Kata kunci: sungai Batang Antokan; beban pencemar; self purification

1. Pendahuluan

Sungai Batang Antokan merupakan salah satu sungai terbesar di Provinsi Sumatera Barat yang terletak di Kecamatan Lubuk Basung, Kabupaten Agam. Sungai ini selain dimanfaatkan sebagai sumber air baku PDAM, juga digunakan sebagai sarana usaha perikanan, kegiatan penangkapan ikan, irigasi, dan area wisata. Hulu Sungai Batang Antokan merupakan *outlet* dari Danau Maninjau yang bermuara ke Samudera Indonesia di pantai barat Sumatera Barat. Adanya aktivitas penduduk di sekeliling Danau Maninjau menyebabkan penurunan kualitas air di Danau. Hal ini dibuktikan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Manganof (2007) [1] bahwa kualitas

Danau Maninjau termasuk klasifikasi baku mutu air kelas 1 berdasarkan PP RI No. 82 Tahun 2001 untuk parameter TSS, COD, BOD₅, nitrit, dan posfat serta termasuk kualitas sedang atau tercemar ringan menurut indeks mutu lingkungan perairan (IMLP). Meskipun kualitas Danau Maninjau ditetapkan sebagai tercemar ringan, namun hasil pengukuran kualitas air Sungai Batang Antokan di hilirnya yang dilakukan oleh Balai Wilayah Sungai Sumatera V Provinsi Sumatera Barat (2012) [2] tidak menunjukkan tingkat pencemaran yang lebih buruk dibandingkan hulu yaitu TSS 24 mg/L, pH 7,4, DO 6,2 mg/L, BOD₅ 2,6 mg/L, COD 15,3 mg/L. Hal tersebut memperlihatkan bahwa Sungai Batang Antokan bagian hilir masih di bawah baku mutu kelas 2 menurut PP RI

No. 82 Tahun 2001, artinya air Sungai Batang Antokan masih dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, dan air untuk irigasi [3]. Namun penelitian Prima (2013) [4] memperlihatkan bahwa kualitas Danau Maninjau telah termasuk klasifikasi baku mutu air kelas 3 menurut PP RI No. 82 Tahun 2001 dengan konsentrasi BOD₅ 25,87 mg/L, COD 256 mg/L, nitrit 0,44 mg/L, logam timbal 0,8 mg/L dan pH 9,78. Meskipun kualitas Danau Maninjau termasuk klasifikasi baku mutu air kelas 3, namun menurut Prima (2013) Danau Maninjau masih memiliki kemampuan untuk mendegradasi beban pencemar secara alamiah (*self purification*) dilihat dari nilai rasio purifikasi (k_2/k_1) melebihi 1 yaitu berkisar antara 1,282 – 7,242. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa meskipun telah terjadi penurunan kualitas, namun dengan *self purification* yang ada di Sungai Batang Antokan, dapat mengendalikan pencemaran yang masuk ke sungai. Meskipun demikian, peningkatan sumber pencemar di kemudian hari dapat mengakibatkan beban sungai terus bertambah, sementara sungai mempunyai kemampuan terbatas untuk melakukan *self purification* terhadap beban pencemar [5].

Penelitian tentang kemampuan *self purification* sebelumnya telah dilakukan oleh Hendrasarie dkk (2010) di Kali Surabaya [6], Astono (2010) di Sungai Ciliwung [7], dan Yu dkk (2005) di Sungai Brazil [8]. Dalam penelitian tersebut digunakan model Streeter-Phelps dengan sumber pencemar yang berasal dari permukiman penduduk, industri, dan pertanian. Hasil penelitian tersebut mengungkapkan bahwa model Streeter-Phelps tidak dapat digunakan untuk menggambarkan kondisi yang sesuai dengan yang ada di lapangan. Hal ini diakibatkan karena penerapan rumus Streeter-Phelps dibatasi oleh sifat hidrogeometri sungai dalam kondisi tunak (*steady state*), sementara sifat hidrogeometri di lapangan menunjukkan kecenderungan yang selalu berubah.

Selain itu dalam perhitungan, hanya digunakan sumber pencemar yang berasal dari titik awal saja, sementara sumber pencemar pada titik berikutnya tidak diperhitungkan.

2. Metode

a. Lokasi dan Waktu Pengambilan Sampel

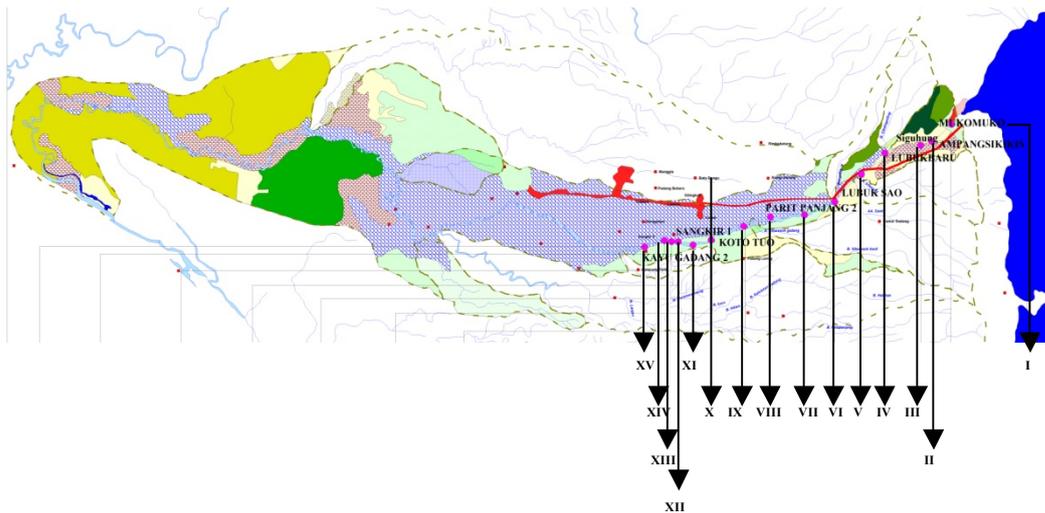
Pengambilan sampel dilakukan pada dua kondisi yaitu pada musim hujan (Desember 2012) dan musim kemarau (Maret 2013). Pengambilan sampel musim hujan diwakili pada bulan Desember karena bulan ini termasuk bulan dengan curah hujan yang cukup tinggi, sedangkan musim kemaraupada bulan Maret yaitu bulan dengan curah hujan cukup rendah di antara bulan lainnya [11].

b. Cara Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel di setiap titik sampling dilakukan secara *grab*, yaitu sampel-sampel yang diambil sesaat pada satu lokasi tertentu [12]. Sampel air diambil menggunakan *vertical water sampler* bermerk APAL-VHA2 dengan volume 5 liter untuk kedalaman ≥ 100 cm, sedangkan untuk kedalaman < 100 cm sampel diambil secara manual menggunakan ember plastik volume 20 liter. Pengambilan sampel air pada titik sampling dilakukan pada dua lokasi yang berada pada jarak 1/3 lebar sungai dan 2/3 lebar sungai, masing-masing di kedalaman 0,5 kali kedalaman dari permukaan atau diambil dengan alat *integrated sampler* sehingga diperoleh contoh air dari permukaan sampai ke dasar secara merata kemudian dicampurkan sampai homogen seperti terlihat pada gambar 2 [13].

d. Pengukuran Hidrogeometri Sungai

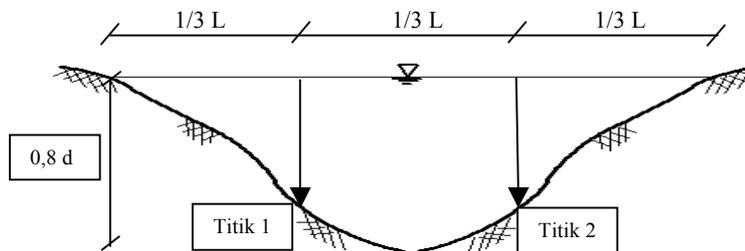
Pengukuran hidrogeometri sungai meliputi dimensi penampang saluran, kecepatan aliran, dan debit aliran. Pengukuran dimensi penampang saluran (kedalaman aliran dan lebar penampang) dilakukan dengan menggunakan alat meteran untuk mendapatkan nilai luas penampang sungai dengan cara perhitungan luas trapesium (gambar 2).



Keterangan:

I. Hulu (Muko-Muko); II. Ampangsikikis; III. Siguhung; IV. Lubuk Baru; V. Lubuk Baru; VI. Lubuk Sao; VII. Lubuk Sao; VIII. Parit Panjang 2; IX. Parit Panjang 2; X. Koto Tuo; XI. Koto Tuo; XII. Sangkir 1; XIII. Sangkir 1; XIV. Sangkir 1; XV. Hilir (Kayu Gadang 2)

Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Sampel Mulai dari Hulu (Muko-Muko) Sampai ke Hilir (Kayu Gadang 2)



Keterangan: = Pengambilan sampel air dari atas permukaan ke dasar sungai

Gambar 2. Lokasi Pengambilan Contoh Air Sungai Batang Antokan Menurut Arah Melintang

e. Metode Analisis

Analisis sampel air yang telah diambil terbagi dua yaitu analisis segera dan analisis laboratorium. Analisis segera berupa pengukuran langsung di lapangan parameter temperatur, pH, dan DO. Pengukuran pH menggunakan peralatan pH-meter yang telah dikalibrasi sebelumnya, sedangkan DO lapangan dan temperatur menggunakan peralatan DO-meter. Analisis laboratorium dilakukan untuk menentukan karakteristik air sungai meliputi TSS, TDS, BOD₅, COD, Nitrat, Nitrit, Posfat, Kadmium, fecal coliform,

dan juga untuk penentuan tingkat pencemar organik BOD₅ dan COD di sepanjang sungai yang berjarak 27 km, dengan menggunakan metode analisis pada tabel 1. Nilai karakteristik ini dibandingkan dengan Peraturan Gubernur Provinsi Sumatera Barat No. 5 Tahun 2008 kelas 2 untuk sarana rekreasi air, budidaya ikan tawar, irigasi, dan peternakan. Semua konsentrasi parameter yang dianalisis mengacu kepada *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* [14].

Tabel 1. Acuan dan Metode Analisis

Jenis Parameter	Parameter	Metode Analisis	Merk
Parameter fisik	Suhu	Elektrometri	EUTECH 1403157
	TSS TDS	Gravimetri	
	pH	Elektrometri	EUTECH 1403157
Parameter kimia	DO	Elektrometri	EUTECH 1403157
	BOD ₅	Titration Iodometric	
	COD	Refluks tertutup dengan secara titrimetri	HACH H0492805390
	Nitrat Nitrit Total Posfat	Spektrofotometri	COLE PARMER 1100 RS
	Logam Cd	Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)	RAYLEIGHT WFX-320
	Parameter biologi	Fecal Coliform	<i>Most Probable Number</i> (MPN)

f. Analisis Tingkat Pencemaran Organik di Perairan Sungai Batang Antokan

Salah satu cara untuk menentukan tingkat pencemaran suatu badan air yaitu dengan metode indeks pencemaran berdasarkan KepMenLH No. 115 Tahun 2003 [9]. Tingkat pencemaran organik DO, BOD, dan COD yang masuk ke perairan Sungai Batang Antokan pada musim hujan dan musim kemarau dihitung dengan persamaan 1, dimana semakin besar nilai indeks pencemaran (PI_j) yang dihasilkan, maka kualitas perairan akan semakin buruk.

$$PI_j = \sqrt{\frac{(C_i/L_{ij})_M^2 + (C_i/L_{ij})_R^2}{2}} \quad (1)$$

Dimana :

PI_j = Indeks pencemaran bagi peruntukan (J)

L_{ij} = Konsentrasi parameter kualitas air yang dicantumkan dalam baku mutu peruntukan air (J)

C_i = Konsentrasi masing-masing parameter DO, BOD, COD di lapangan

$(C_i/L_{ij})_M$ = Nilai C_i/L_{ij} maksimum

$(C_i/L_{ij})_R$ = Nilai C_i/L_{ij} rata-rata

g. Sumber dan Jenis Pencemar Potensial di Perairan Sungai Batang Antokan

Aktivitas penduduk yang paling berkontribusi terhadap pencemaran di sepanjang Sungai Batang Antokan adalah sumber pencemar organik. Untuk menentukan sumber pencemar organik terbesar terhadap pencemaran di badan air dapat dihitung melalui beban pencemaran yang dihasilkan oleh masing-masing parameter potensial sebagai sumber pencemaran. Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 1 Tahun 2010 [15], besarnya beban limbah yang berasal dari berbagai aktivitas penduduk di sepanjang perairan sungai khususnya limbah organik dan hara dapat dihitung dengan metode *Rapid Assessment* berikut ini:

$$\text{Beban pencemar (ton/tahun)} = a \times b \times 360 \times 10^{-6} \quad (2)$$

Dimana:

a = Jumlah orang atau hewan atau unit

b = Faktor konstanta beban pencemar

360 = Konversi tahun ke hari

10^{-6} = Konversi gram ke ton

Faktor konstanta beban pencemar (b) yang digunakan dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Faktor Konstanta Beban Pencemar

Aktivitas	Faktor Emisi (gr/kapita/hari)			
	BOD	COD	TP	TN
1. Permukiman				
a. Limbah cair tanpa diolah	53	101,6	22,7	3,8
b. Pakai <i>septic tank</i>	12,6	24,2	5,4	0,9
2. Hotel	12	24,2	5,4	0,9
Faktor Emisi (gr/ekor/hari)				
3. Peternakan	694,4	1620	223,1	8,6

Sumber: PerMenLH No. 1 Tahun 2010

Estimasi besarnya beban pencemaran yang akan dihasilkan oleh lahan pertanian dan keramba di sekitar perairan Sungai Batang Antokan ditentukan dengan persamaan 3, yaitu [1]:

$$BP = JP \times P \quad (3)$$

Dimana:

BP = Beban pencemar

JP = Jumlah kandungan unsur hara yang terdapat dalam pupuk/pakan yang diberikan (ton/th)

$$= a \times b \times c$$

a = Luas lahan pertanian (ha) atau jumlah keramba (unit)

b = Jumlah total pupuk pada sawah (ton/ha/th) atau jumlah total pakan ikan (ton/unit/th) yang digunakan

c = Koefisien pupuk atau pakan (%)

P = Persentase kandungan unsur hara yang terbangun ke badan perairan (%)

i. Kemampuan *Self Purification* Perairan Sungai Batang Antokan

Kemampuan *self purification* Sungai Batang Antokan ditentukan melalui nilai koefisien deoksigenasi (k_1), koefisien reaerasi (k_2), dan rasio purifikasi.

a) Koefisien deoksigenasi (k_1)

Koefisien deoksigenasi merupakan laju pengurangan kandungan oksigen dalam suatu badan air yang disebabkan oleh oksidasi buangan organik oleh mikroorganisme dari buangan organik terlarut dan tersuspensi dari sumber alam maupun kegiatan manusia. Penentuan k_1 dilakukan dengan *slope*

method untuk reaksi kinetik orde satu (*first order*), yaitu dengan persamaan 4 [17]:

$$dy/dt = k_1 (L_a - y) = k_1 L_a - k_1 y \quad (4)$$

Dimana:

dy = Kenaikan konsentrasi BOD per unit pada saat waktu t

k_1 = Koefisien deoksigenasi (hari^{-1})

L_a = BOD *ultimate* awal (mg/L)

y = BOD *exerted* pada saat waktu t (mg/L)

dt = Perubahan waktu (hari)

Adapun hasil diferensial dari persamaan (4) yaitu:

$$na + b \sum y - \sum y' = 0 \quad (6)$$

$$a \sum y + b \sum y^2 - \sum yy' = 0 \quad (7)$$

$$k_1 = -b \quad (8)$$

$$y_i' = \frac{(y_{i+1}) - (y_{i-1})}{t_{i+1} - t_{i-1}} \quad (5)$$

Dimana:

n = Total lamanya inkubasi BOD - 1 (hari)

a = Koefisien deoksigenasi (hari^{-1})

b = BOD *ultimate* awal (mg/L)

y = Konsentrasi BOD hari ke - n (mg/L)

y_i' = Konsentrasi BOD hari ke-n dikurang konsentrasi BOD hari ke n-1 dibagi

hari inkubasi ke-n dikurang hari inkubasi ke n-1 (mg/L.hari)

b) Koefisien reaerasi (k_2)

Koefisien reaerasi merupakan laju input oksigen ke dalam sungai. Nilai k_2 dapat

dihitung dengan persamaan O'Connor dan Dobbins, yaitu [18]:

$$k_2 = \frac{(D_0 \times U)^{1/2}}{H^{3/2}} \quad (6)$$

Dimana:

- k_2 = Koefisien reaerasi (1/hari)
 D_0 = Koefisien difusi molekul oksigen dalam air
 = $18,95 \times 10^{-4} \text{ ft}^2/\text{hari}$ ($1,76 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{hari}$) pada suhu 20°C , pada suhu lain $1,037^{T-20}$
 U = Kecepatan aliran (m/det)
 H = Kedalaman rata-rata air (m)

c) Rasio purifikasi (k_2/k_1)

Perbandingan laju reaerasi (k_2) dengan laju deoksigenasi (k_1) digunakan untuk menentukan kemampuan sungai melakukan purifikasi secara alamiah [19].

3. Hasil dan Pembahasan

Perkiraan Daya Tampung Beban Pencemaran Organik Sungai Batang Antokan pada Musim Hujan dan Musim Kemarau

Hasil perhitungan daya tampung beban pencemaran menggunakan persamaan 4 berdasarkan Metode Neraca Massa dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 3. Daya Tampung Beban Pencemaran Organik Sungai Batang Antokan pada Musim Hujan dan Kemarau

Parameter	Satuan	Daya Tampung Beban Pencemaran Organik (mg/L)				Baku Mutu Kelas 2
		Musim Hujan		Musim Kemarau		
		Konsentrasi	Keterangan	Konsentrasi	Keterangan	
DO	mg/L	5,6	Memenuhi	5,37	Memenuhi	4
BOD ₅	mg/L	2,96	Memenuhi	22,65	Melebihi	3
COD	mg/L	98,12	Melebihi	377,58	Melebihi	25

Dari hasil perhitungan Daya Tampung Beban Pencemaran Metode Neraca Massa tersebut dapat dilihat bahwa parameter organik yang sudah memenuhi baku mutu air kelas 2 untuk parameter DO yaitu 5,6 mg/L dan BOD 2,96 mg/L pada musim hujan serta DO sebesar 5,37 mg/L pada musim kemarau. Parameter organik yang sudah melebihi baku mutu air kelas 2 adalah COD sebesar 98,12 mg/L pada musim hujan serta BOD sebesar 22,65 mg/L dan COD sebesar 377,58 mg/L pada musim kemarau. Hal ini berarti Sungai Batang Antokan tidak mempunyai daya tampung lagi untuk penambahan beban parameter COD pada musim hujan serta penambahan parameter BOD dan COD pada musim kemarau menurut kriteria kelas 2. Hal ini dikarenakan aktivitas dari permukiman penduduk berkontribusi besar dalam menyumbang beban pencemar organik di perairan Sungai Batang Antokan yaitu sebesar 134,526 ton BOD₅ /tahun dan 258,261 ton COD /tahun.

Koefisien Deoksigenasi (k_1), Koefisien Reaerasi (k_2), dan Rasio purifikasi (k_2/k_1) pada Sungai Batang Antokan

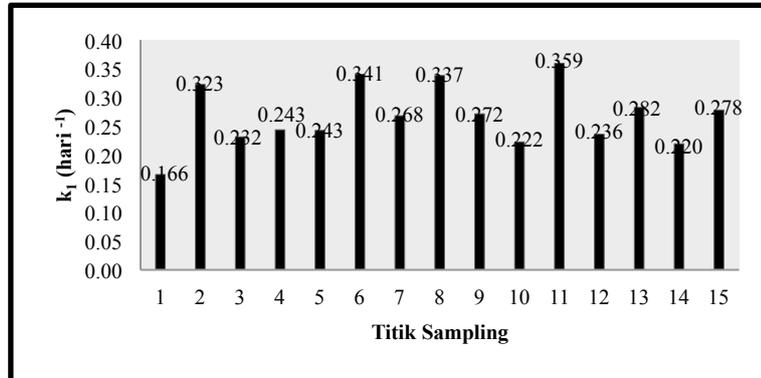
Potensi *self purification* Sungai Batang Antokan dapat ditentukan dengan penetapan koefisien deoksigenasi (k_1) berdasarkan persamaan 5 sampai dengan persamaan 9, koefisien reaerasi (k_2) berdasarkan persamaan 10, dan rasio purifikasi (k_2/k_1).

a. Koefisien Deoksigenasi (k_1)

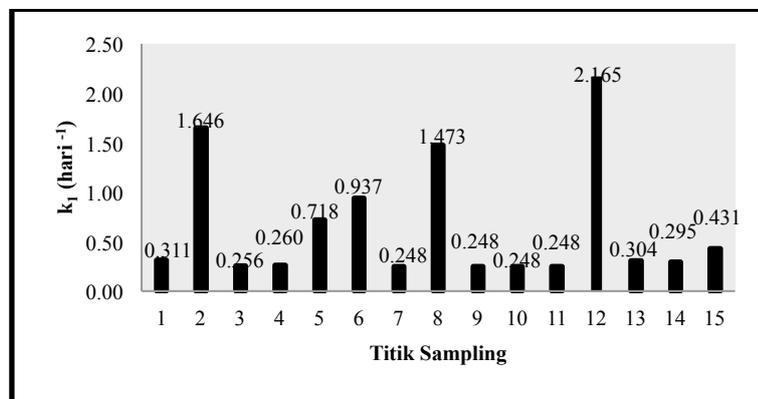
Pada gambar 7 dapat dilihat bahwa kisaran nilai k_1 di sepanjang Sungai Batang Antokan bervariasi antara 0,166 - 0,359 /hari pada musim hujan, lebih kecil dibandingkan musim kemarau yang berkisar antara 0,248 - 2,165 /hari. Nilai ini menurut Eckenfelder (1991) [29], tergolong tercemar karena berada dalam rentang 0,15 - 0,28 /hari pada musim hujan yang mengindikasikan kecepatan penggunaan oksigen setara dengan kecepatan penggunaan oksigen untuk air buangan yang tidak diolah, sedangkan pada musim kemarau berada dalam rentang 0,3 - 0,6 yang mengindikasikan setara dengan air buangan dengan pencemar tinggi.

Tingginya nilai k_1 ini dapat dianalisis dari konsentrasi DO dan BOD yang diperoleh untuk masing-masing musim baik hujan maupun kemarau. Pada musim hujan, konsentrasi rata-rata DO 5,6 mg/L dan BOD 2,9 mg/L, sedangkan musim kemarau DO rata-rata 5,4 mg/L dan BOD 22,6 mg/L. Dari perbandingan

nilai ini, terlihat bahwa konsentrasi DO tidak jauh berbeda saat hujan dan kemarau, sehingga dapat dianggap hampir sama dan cukup untuk kualitas perairan karena telah berada di atas baku mutu, sedangkan konsentrasi BOD terlihat jauh berbeda.



(a) Musim Hujan



(b) Musim Kemarau

Keterangan Titik Sampling:

1. Hulu (Muko-Muko); 2. Ampangsikikis; 3. Siguhung; 4. Lubuk Baru; 5. Lubuk Baru; 6. Lubuk Sao; 7. Lubuk Sao; 8. Parit Panjang 2; 9. Parit Panjang 2; 10. Koto Tuo; 11. Koto Tuo; 12. Sangkir 1; 13. Sangkir 1; 14. Sangkir 1; 15. Kayu Gadang 2

Gambar 7. Nilai Koefisien Deoksigenasi (k_1) di Sepanjang Sungai Batang Antokan

Kondisi ini menggambarkan bahwa perairan dengan pencemar organik (BOD) yang tinggi dan oksigen terlarut yang cukup akan meningkatkan nilai k_1 dibandingkan perairan dengan pencemar yang rendah. Hal ini karena k_1 merupakan nilai yang menggambarkan kecepatan penggunaan oksigen untuk mendekomposisi pencemar di perairan. Dari definisi ini jelas ada 2 faktor yang mempengaruhi nilai k_1 yaitu DO dan pencemar dalam hal ini adalah BOD. Pencemar organik yang tinggi didukung dengan oksigen terlarut yang cukup akan menyebabkan reaksi dekomposisi berjalan cepat.

Nilai k_1 pada Sungai Batang Antokan lebih kecil dibandingkan dengan nilai k_1 pada Sungai Ciliwung, Jawa Barat [7] yaitu berkisar antara 0,286 – 0,429 /hari pada musim hujan dan 0,309 – 0,499 /hari pada musim kemarau. Hal ini diduga disebabkan karena padatnya aktivitas penduduk di sepanjang Sungai Ciliwung dibandingkan dengan Sungai Batang Antokan. Namun, nilai k_1 baik di

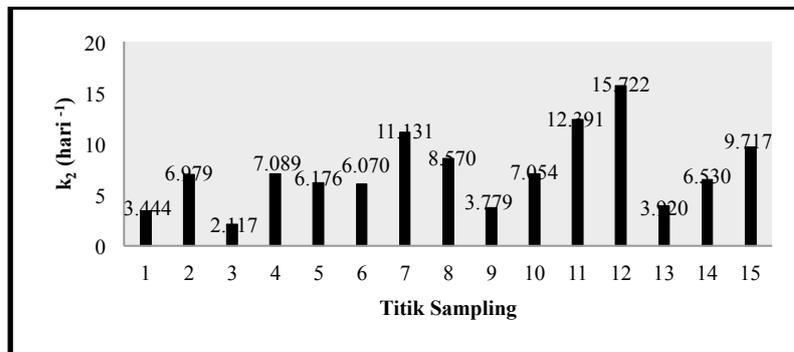
Sungai Batang Antokan maupun di Sungai Ciliwung pada musim hujan lebih rendah dibandingkan dengan nilai k_1 pada musim kemarau, diakibatkan karena adanya faktor pengenceran oleh air hujan. Nilai koefisien ini berpengaruh positif terhadap laju kenaikan defisit oksigen perairan.

Gambar 7 (a) memperlihatkan bahwa pada musim hujan setiap penambahan jarak 10 km terjadi siklus kenaikan nilai k_1 . Pada titik 1 (Jorong Muko-Muko) dengan nilai k_1 sebesar 0,166 /hari naik menjadi 0,341 /hari pada titik 6 (Jorong Lubuk Sao). Kemudian pada titik 12 (Jorong Sangkir I) terjadi penurunan dengan nilai k_1 sebesar 0,236 /hari, dan mengalami kenaikan kembali pada titik 15 (Jorong Kayu Gadang 2) dengan nilai k_1 sebesar 0,278 /hari. Hal ini disebabkan karena adanya pengaruh sumber pencemar di sepanjang Sungai Batang Antokan serta turbulensi aliran

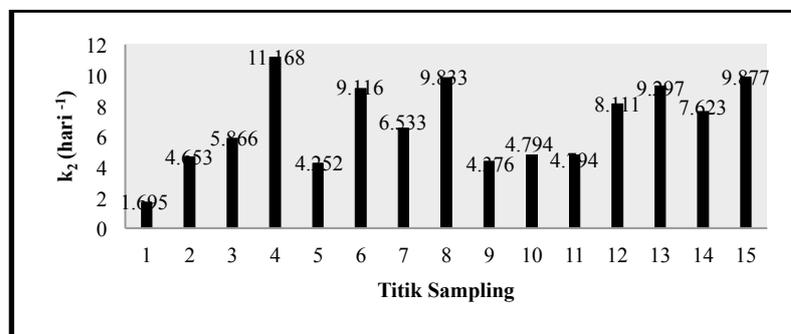
saat hujan, dimana titik 6 hanya menerima beban limbah dari kegiatan pertanian, titik 12 menerima beban limbah dari kegiatan permukiman dan keramba, sedangkan titik 15 merupakan titik akhir sampling. Berbeda dengan gambar 7 (b), menunjukkan bahwa pada musim kemarau, titik 6 terjadi kenaikan nilai k_1 dari titik 1 dan terus meningkat pada titik 12, kemudian mengalami penurunan pada titik 15. Secara keseluruhan baik musim hujan maupun kemarau menunjukkan bahwa semakin ke hilir nilai k_1 semakin naik.

b. Koefisien Reaerasi (k_2)

Data yang diperoleh dari pengukuran v dan H di lapangan menunjukkan bahwa nilai k_2 pada Sungai Batang Antokan musim hujan berkisar antara 2,117 - 15,722 /hari, lebih besar dibandingkan kemarau yaitu 1,695 - 11,168 /hari seperti terlihat pada gambar 8. dengan air buangan dengan pencemar tinggi



(a) Musim Hujan



(b) Musim Kemarau

Keterangan Titik Sampling:

1. Hulu (Muko-Muko); 2. Ampangsikikis; 3. Siguhung; 4. Lubuk Baru; 5. Lubuk Baru; 6. Lubuk Sao;
7. Lubuk Sao; 8. Parit Panjang 2; 9. Parit Panjang 2; 10. Koto Tuo; 11. Koto Tuo; 12. Sangkir 1; 13. Sangkir 1; 14. Sangkir 1; 15. Kayu Gadang 2

Gambar 8. Nilai Koefisien Reaerasi (k_2) di Sepanjang Sungai Batang Antokan

Nilai k_2 pada Sungai Batang Antokan untuk berbagai temperatur semakin ke hilir semakin besar, yaitu di bagian hulu sebesar 3,444 /hari pada musim hujan dan 1,695 /hari pada musim kemarau, sedangkan di bagian hilir sebesar 9,717 /hari pada musim hujan dan 9,877 /hari pada musim kemarau. Begitu juga halnya dengan nilai k_2 Sungai Batang Antokan pada suhu 20°C untuk musim hujan dan musim kemarau berkisar antara 1,416 - 13,702 /hari. Jika dilihat dari tetapan koefisien reaerasi menurut *Engineering Board of Review for the Sanitary District of Chicago* [16], nilai koefisien reaerasi Sungai Batang Antokan baik musim hujan maupun kemarau lebih besar dari 1,15 yaitu setara dengan air terjun dan aliran deras. Musim ini dipertegas dengan hasil pengukuran kecepatan aliran maksimum Sungai Batang Antokan sebesar 5 m/det pada musim hujan dan 0,77 m/det pada musim kemarau. Berbeda halnya dengan Sungai Batang Antokan, nilai k_2 yang diperoleh dari penelitian Astono [7] di Sungai Ciliwung, Jawa Barat semakin ke hilir semakin kecil yaitu di hulu sebesar 14 /hari pada musim hujan dan 12 /hari pada musim kemarau karena ditandai dengan debit aliran yang besar yaitu sebesar 370 m³/det, sedangkan di bagian hilir sebesar 0,45 /hari pada musim hujan dan 0,35 /hari pada musim kemarau. Hal ini menandakan bahwa musim hulu Sungai Ciliwung lebih baik dibandingkan dengan musim hulu Sungai Batang Antokan, karena tidak terdapat aktivitas lainnya sebelum hulu Sungai Ciliwung.

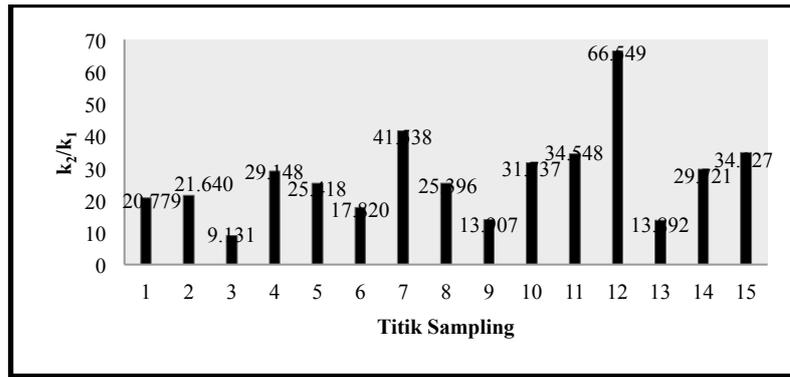
Sama halnya dengan nilai k_1 , Gambar 8 (a) menunjukkan bahwa pada musim hujan setiap penambahan jarak 10 km nilai k_2 cenderung mengalami peningkatan. Namun, gambar 8 (b)

mempelihatkan bahwa setiap penambahan jarak 10 km nilai k_2 berfluktuatif sampai ke bagian hilir.

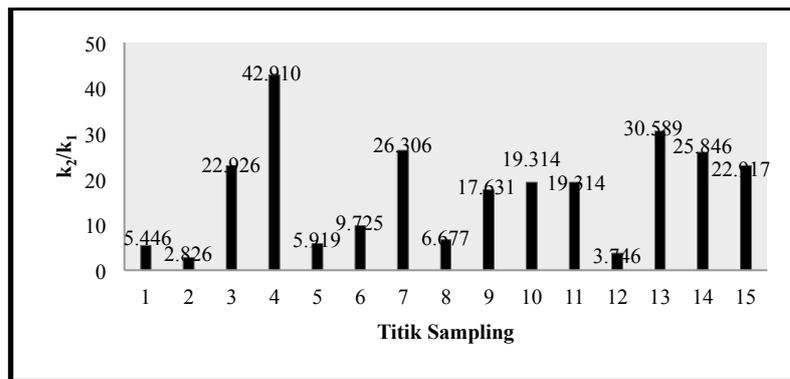
c. Rasio Purifikasi (k_2/k_1)

Rasio purifikasi perairan Sungai Batang Antokan pada musim hujan berkisar antara 9,131 - 66,549, lebih besar dibandingkan musim kemarau yang berkisar antara 2,826 - 42,910 seperti terlihat pada gambar 9. Rasio k_2/k_1 di bagian hulu Sungai Batang Antokan sebesar 20,779 pada musim hujan dan 5,446 pada musim kemarau, sedangkan di bagian hilir sebesar 34,927 pada musim hujan dan 22,917 pada musim kemarau. Secara keseluruhan baik musim hujan maupun musim kemarau, nilai rasio purifikasi berada lebih dari 1 yang menunjukkan bahwa perairan Sungai Batang Antokan masih mempunyai daya dukung yang lebih besar terhadap pencemar-pencemar organik yang masuk ke perairan. Nilai rasio purifikasi yang tinggi ini mengindikasikan sungai memiliki kemampuan untuk mendegradasi pencemar yang masuk ke perairan secara alamiah. Hal ini diperkuat dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Astono [7] pada Sungai Ciliwung dengan nilai rasio purifikasi di bagian hulu sebesar 49 pada musim hujan dan 39 pada musim kemarau, sedangkan di bagian hilir sebesar 1,05 pada musim hujan dan 1 pada musim kemarau dengan air buangan dengan pencemar tinggi.

Sama halnya dengan nilai k_2 , Gambar 9 (a) menunjukkan bahwa pada musim hujan setiap penambahan jarak 10 km nilai k_2 cenderung mengalami peningkatan. Namun, gambar 9 (b) mempelihatkan bahwa setiap penambahan jarak 10 km nilai k_2 berfluktuatif sampai ke bagian hili



(a) Musim Hujan



(b) Musim Kemarau

Keterangan Titik Sampling:

1. Hulu (Muko-Muko); 2. Ampangsikikis; 3. Siguhung; 4. Lubuk Baru; 5. Lubuk Baru; 6. Lubuk Sao;
7. Lubuk Sao; 8. Parit Panjang 2; 9. Parit Panjang 2; 10. Koto Tuo; 11. Koto Tuo; 12. Sangkir 1; 13. Sangkir 1; 14. Sangkir 1; 15. Kayu Gadang 2

Gambar 9. Rasio Purifikasi (k_2/k_1) di Sepanjang Sungai Batang Antokan

Zona Self Purification Sungai Batang Antokan

Zona *self purification* Sungai Batang Antokan terdiri dari zona degradasi, dekomposisi aktif, dan reoksigenasi. Zona ini dilihat dari distribusi nilai koefisien deoksigenasi (k_1), koefisien reaerasi (k_2), parameter organik DO dan BOD.

Berdasarkan kurva respon k_1 , k_2 , DO, dan BOD (gambar 10 dan gambar 11), terlihat adanya karakteristik yang membedakan potensi kemampuan *self purification* Sungai Batang Antokan, yaitu:

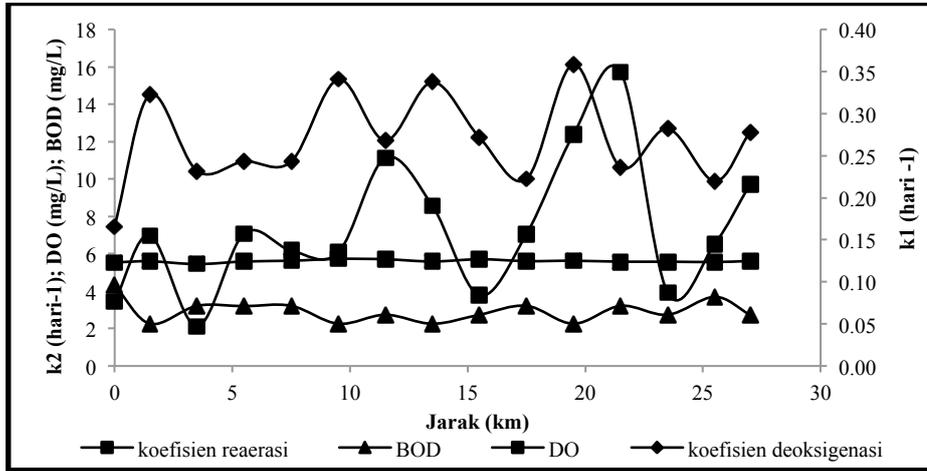
1. Zona degradasi, dimulai dari titik 1 - 3 (Hulu-Siguhung) yang bertopografi landai mendatar dan beraliran laminar hasil dari kombinasi kecepatan dan kedalaman sungai yang sedang-agak dalam. Kondisi ini

berada pada taraf deplesi oksigen karena oksigen yang masuk tidak sebanding dengan kebutuhan degradasinya, seperti tampak dari distribusi DO pada musim hujan dan musim kemarau sebesar 5,5 mg/L di hulu kemudian turun menjadi 5,38 mg/L di titik 3 yang relatif lebih keruh dan berlumpur dengan nilai BOD sebesar 15,13 mg/L di hulu dan turun menjadi 13,13 mg/L di titik 3.

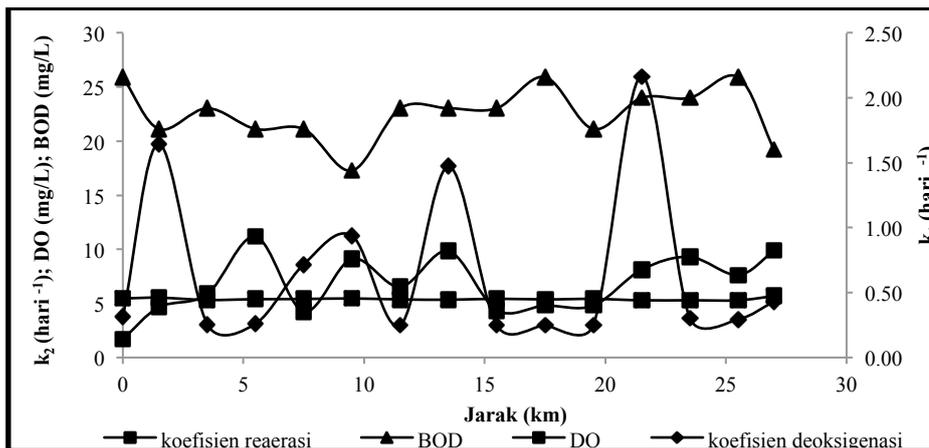
2. Zona dekomposisi aktif, terdapat pada titik 4 - 8 (Lubuk Baru-Parit Panjang 2) yang bertopografi relatif datar dan beraliran turbulen hasil dari kombinasi kecepatan dan kedalaman sungai yang tenang dan sedang. Kondisi ini bergerak ke titik defisit oksigen kritis karena oksigen yang masuk tidak dapat memenuhi kebutuhan degradasinya. Tampak distribusi DO menurun hingga

- mencapai 5,49 mg/L di titik 4 dan 5,46 mg/L di titik 8 dengan nilai BOD sebesar 12,16 mg/L di titik 4 dan naik menjadi 12,65 mg/L di titik 8.
3. Zona reoksigenasi, terdapat pada titik 9 - 15 (Parit Panjang 2-Kayu Gadang 2) yang bertopografi curam melandai dan beraliran turbulensi kuat hasil dari kombinasi kecepatan dan

kedalaman sungai yang beraliran deras dan dangkal. Kondisi ini telah memicu kelarutan oksigen atmosfer ke dalam perairan berlangsung cepat dan efektif sebagaimana tampak dari distribusi DO pada musim hujan dan musim kemarau sebesar 5,57 mg/L di titik 9 dan naik perlahan ke hilir (titik 15) sebesar 5,65 mg/L



Gambar 10. Distribusi Nilai k_1 , k_2 , DO, dan BOD di Sepanjang Sungai Batang Antokan pada Musim Hujan



Gambar 11. Distribusi Nilai k_1 , k_2 , DO, dan BOD di Sepanjang Sungai Batang Antokan pada Musim Kemarau

Nilai DO ini berbanding terbalik dengan distribusi BOD, dimana semakin ke hilir konsentrasinya semakin turun yaitu berkisar 12,72 mg/L pada titik 9 dan 10,97 mg/L pada titik 15. Berlimpahnya oksigen di titik ini dapat merupakan *buffer* oksigen yang diperlukan apabila terjadi *shock loading* dari buangan limbah organik penduduk di sekitarnya. Dengan demikian maka titik 9-15 sekaligus merupakan zona pemulihan yang cukup potensial.

4. Simpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan di Sungai Batang Antokan, dapat disimpulkan bahwa:

- a. Sumber pencemar organik yang potensial menurunkan kualitas Sungai Batang Antokan adalah keramba dengan beban pencemar 751,45 ton limbah organik /tahun, kemudian diikuti oleh permukiman penduduk dengan beban pencemar 134,526 ton BOD₅ /tahun dan 258,261 ton COD /tahun;
- b. Kisaran nilai koefisien deoksigenasi di sepanjang Sungai Batang Antokan berkisar antara 0,166 - 2,165 /hari, nilai koefisien reaerasi berkisar antara 1,416 - 13,702 /hari dan rasio purifikasi antara 2,826 - 66,549, memperlihatkan air sungai memiliki kecepatan penggunaan oksigen setara untuk aliran limbah dengan tingkat pencemaran sedang hingga tinggi dan kecepatan reaerasi setara aliran sungai deras sehingga mampu mendegradasi pencemar yang masuk ke perairan secara alamiah meskipun beban pencemar BOD dan COD telah melewati batas pencemaran;

Daftar Pustaka

1. Marganof, *Model Pengendalian Pencemaran Perairan di Danau Maninjau (Thesis)*, Insititut Pertanian Bogor Press, Bogor, 2007.
2. Balai Wilayah Sungai Sumatera V Direktorat Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum Provinsi Sumatera Barat, *laporan hasil pengujian kualitas air sungai di Provinsi Sumatera Barat*, Balai Wilayah Sungai Sumatera V Sumatera Barat Publikasi, Padang, 2012.
3. Peraturan Gubernur Sumatera Barat No. 5 Tahun 2008 tentang Penetapan Kriteria Mutu Air Sungai Di Provinsi Sumatera Barat.
4. Prima, R., *Kemampuan Pembersihan Diri Alamiah (Self Purification) Danau Maninjau Ditinjau Dari Parameter Organik*, Tugas Akhir S1 Teknik Lingkungan Universitas Andalas, Padang, 2013.
5. Glym, H. dan Gary, W., *Environmental Science and Engineering*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458, 1989.
6. Hendrasarie, N. dan Cahyarani, *Kemampuan Self Purification Kali Surabaya, Ditinjau dari Parameter Organik berdasarkan Model Matematis Kualitas Air*, Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan Vol. 2 No. 1, Surabaya, 2010.
7. Astono, W., *Penetapan Nilai Konstanta Dekomposisi (KD) dan Nilai Konstanta Reaerasi (KA) pada Sungai Ciliwung Hulu-Hilir*, Jurnal EKOSAINS Vol. 11 No. 1, Jakarta, 2010.
8. Yu, L. dan Salvador, N.N.B., *Modelling Water Quality in River*, American Journal of Applied Sciences 2 (4) 881-886, 2005.
9. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 115 Tahun 2003 Tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air.
10. Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air Provinsi Sumatera Barat Tahun 2012.
11. Bapedalda Kabupaten Agam Tahun 2012.
12. SNI 6989.59:2008 Tentang Metode Pengambilan Contoh Air Limbah, Badan Standarisasi Nasional.
13. SNI 6989.57:2008 Tentang Metode Pengambilan Contoh Air Permukaan, Badan Standarisasi Nasional.
14. American Public Health Association (APHA), *Standard Methods for the Examination*

- of Water and Wastewater*, 19th Edition, Washington DC, 2005
15. Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 01 Tahun 2010 Tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air
 16. Keputusan Menteri Lingkungan hidup Nomor 110 Tahun 2003 Tentang Pedoman Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran Air Pada Sumber Air
 17. Lin, S. D., *Handbook of Environmental Engineering Calculations*, 2nd Edition, McGraw-Hill Publishing Company, LTD, New Delhi, 2007.
 18. Chapra, S., *Surface Water Quality Modelling*, McGraw – Hill, New York, 1997.
 19. Ugbebor, J.N., Agunwamba J.C., dan Amah, V.E., *Determination of Reaeration Coefficient K_2 for Polluted Stream as a Function of Depth, Hydraulic Radius, Temperature, and Velocity*, Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH) Vol. 31 No. 2, July, 2012, pp. 174-180.
 20. Soewarno, *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data Jilid ke 2*, Nova, Bandung, 1995.
 21. Saragih, R.D., *Proyeksi Tingkat Produksi Padi dan Kebutuhan Konsumsi Beras pada Tahun 201 di Kabupaten Karo*, USU, Medan, 2009.
 22. Sudjana, *Metoda Statistika*, Tarsito, 1975.
 23. Effendi, H., *Telaah Kualitas Air*, Kanisius, Yogyakarta, 2003.
 24. Dhokkikah, *Teknologi Biosand-Filter dalam Mengelolah Air Limbah*, 2006, <http://www.scribd.com/doc/59229793/bab1-2-3-od>, Tanggal akses pada tanggal 11 Juli 2013 pukul 10.00 WIB
 25. Pusat Penelitian Limnologi, *Program Penyehatan Danau Maninjau dan Pemberdayaan Masyarakat di Sekitar Danau*, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), 2009.
 26. Garno, Y.S., *Beban Pencemaran Limbah Perikanan Budidaya dan Yutrofikasi di Perairan Waduk pada Das Citarum*, ITB, Bandung, 2002.
 27. Chester, R., *Marine Geochemistry*, Unwin Hyman Ltd, London, 1990.
 28. Setyorini, D., Soeparto, dan Sulaeman, *Kadar logam berat dalam pupuk. hlm. 219-229 dalam Prosiding Seminar Nasional Peningkatan Kualitas Lingkungan dan Produk Pertanian tentang Pertanian Produktif Ramah Lingkungan Mendukung Ketahanan dan Keamanan Pangan*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Jakarta, 2003.
 29. Eckenfelder, T. S., *Deoxygenation Rate For Surface Water and Wastewater*. Harpers and Row, New York, 1991.