

## EVALUASI METODE PENENTUAN PARAMETER BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND (BOD)

Lismining Pujiyanti Astuti<sup>a</sup> dan Niken TM Pratiwi<sup>b</sup>

<sup>a</sup> *Balai Penelitian Pemulihan dan Konservasi Sumberdaya Ikan, Purwakarta*

<sup>b</sup> *Dosen Fakultas Perikanan dan Kelautan, Institut Pertanian Bogor*

e-mail : [lisminingastuti@gmail.com](mailto:lisminingastuti@gmail.com)

Diterima: 12 Januari 2016, Disetujui: 26 Mei 2016

### ABSTRAK

Pengukuran BOD sangat penting untuk mengevaluasi tingkat pencemaran perairan oleh bahan organik. Terdapat dua parameter utama dalam kajian mengenai BOD, yaitu BOD ultimate ( $L_0$ ) dan laju BOD ( $k$ ). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi metode estimasi parameter BOD yang mempunyai tingkat akurasi dan validitas paling baik. Sampel yang digunakan dalam pengukuran BOD diambil dari lokasi karamba jaring apung Waduk Ir. H. Djuanda, Purwakarta. Metode yang digunakan untuk penentuan nilai BOD ultimate dan nilai  $k$  adalah Least Square Method, Thomas Graphical Method dan Daily Different Method. Pengujian tingkat akurasi, validitas dan ketepatan dari metode-metode tersebut didasarkan dengan nilai hasil pengamatan BOD ( $D$ ), Bias total, koefisien determinasi dan model kriteria seleksi. Berdasarkan keempat metode uji, metode Least Square Method mempunyai akurasi, validitas dan ketepatan yang lebih baik dibandingkan metode Thomas Graphical Method dan Daily Different Method.

**Kata kunci:** BOD ultimate, laju BOD ( $k$ ), akurasi, validitas, ketepatan model BOD

### ABSTRACT

#### THE EVALUATION OF BOD PARAMETERS DETERMINATION METHODS.

Measurement of Biochemical Oxygen Demand (BOD) is very important to evaluate water pollution by organic matter. There are two key parameters of BOD which are ultimate BOD and  $k$  value. The purpose of this study was to evaluate the BOD parameter estimation method of better accuracy and validity. The sample used for the BOD measurement were taken from the location of floating cage in Ir. H. Juanda reservoir, Purwakarta. The methods used for determining the ultimate BOD and the  $k$  value were the Least Square Method, Thomas Graphical Method and Daily Different Method. The evaluation of the level of accuracy, validation and good fitness of the methods were based on  $D$  value, total error, coefficient of determination and the model selection criteria. There were showed that the Least Square Method has better accuracy, validation and good fitness compared to other methods.

**Keywords:** ultimate BOD, rate of BOD, accuracy, validity and good fitness of BOD model

## PENDAHULUAN

*Biochemical Oxygen Demand (BOD)* atau kebutuhan oksigen biokimiawi adalah banyaknya oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk mendekomposisi bahan organik pada kondisi aerobik. Nilai BOD dapat digunakan untuk mengevaluasi tingkat pencemaran air oleh bahan organik (Salmin, 2005; Siwec *et al.*, 2011). Nilai BOD dipengaruhi banyak faktor seperti suhu, tekanan osmotik, salinitas, komposisi kimia dan ketersediaan oksigen (Dhage *et al.*, 2012).

Parameter kunci BOD adalah BOD *ultimate* ( $L_o$ ) dan laju BOD ( $k$ ). Nilai  $k$  (konstanta laju BOD) menunjukkan besarnya laju penguraian bahan organik oleh mikroorganisme aerob perairan (Astono, *et al.* 2008). BOD *ultimate* adalah jumlah total oksigen yang dikonsumsi selama reaksi (Dhage *et al.*, 2012). Parameter BOD digunakan untuk (1) menentukan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk menstabilkan bahan organik secara biologi, (2) menentukan titik kritis dan oksigen difisit kritis dalam kurva sag oksigen, (3) memperkirakan ukuran tempat pengolahan limbah dengan penggunaan beban BOD permukaan, (4) mengukur efisiensi beberapa proses pengolahan limbah melalui penggunaan konsep BOD (Oke *et al.*, 2009).

Terdapat banyak metode yang dapat digunakan untuk penentuan nilai BOD *ultimate* dan nilai  $k$ . Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi metode estimasi parameter BOD yang mempunyai tingkat akurasi dan validitas paling baik.

## BAHAN DAN METODE

Pengambilan sampel air dilakukan di lokasi budidaya ikan dalam KJA di Waduk Ir. H. Djuanda, Jawa Barat, Indonesia sebanyak 4 kali pada bulan Juni-Agustus 2013. Sampel air diambil sebanyak 3 liter dan diaerasi selama 2 jam kemudian dimasukkan ke botol Winkler yang gelap masing-masing sebanyak 8 sampel. Selanjutnya dilakukan inkubasi selama 7 hari seperti yang dilakukan Singh (2004)

dalam inkubator dengan suhu seperti yang ada di lokasi pengamatan. Pengamatan DO (*dissolved oxygen*) dengan metode Winkler dilakukan setiap hari.

Penentuan BOD diawali dengan pengukuran DO awal (0 hari) terhadap botol pertama. Kemudian sampel dalam botol gelap yang lain diinkubasi. Masing-masing dari ketujuh botol yang diinkubasi dilakukan pengukuran DO sejak hari pertama ( $DO_1$ ) hingga hari ketujuh inkubasi ( $DO_7$ ). Perhitungan nilai BOD adalah:

$$BOD_t = [DO_{0 \text{ hari}} - DO_t]$$

Perhitungan estimasi parameter BOD yaitu nilai  $k$  dan  $L_o$  dengan menggunakan tiga metode (Cutrera *et al.*, 1999; Abdelrasoul, 2001; Tchobanoglous *et al.*, 2003; Singh 2004; Oke *et al.*, 2009; Siwec *et al.*, 2011), yaitu

### 1. Least square method (LSM):

$$dL/dt = -kL_t$$

Keterangan:

$$L_t = L_o - y_t$$

$$y_t = BOD_t$$

$$dy/dt = k(L_o - y_t)$$

$$dy/dt = kL_o - ky_t$$

Penentuan nilai  $k$  dan  $L_o$ :

$$S_{xx} = n\sum y_t^2 - (\sum y)^2$$

$$S_{xy} = n\sum y_t(dy/dt) - (\sum y_t)(\sum dy/dt)$$

$$\text{Slope atau } -k = S_{xy} / S_{xx}$$

$$\text{Intersep atau } kL_o = \sum(dy/dt)/n + k\sum(y_t)/n$$

$$L_o = \text{Intersep} / (-\text{slope})$$

$$dy/dt = (y_{t+1} - y_{t-1})/2\Delta t$$

Keterangan:

$y_t$  : nilai BOD hasil pengamatan

$\Delta t$  : waktu selang pengamatan

$t$  : pengamatan hari ke 1, 2,3,...

$n$  : Jumlah total pengamatan

### 2. Thomas Graphical Methods (TGM):

$$(t/y)^{1/3} = 1/(2,3 \cdot k L_o)^{1/3} + [(2,3 \cdot k)^{1/3}/6L_o^{1/3}] \cdot t$$

Nilai  $(t/y)^{1/3}$  diplotkan dengan  $t$  sehingga dapat mengetahui slope dan intersepanya. Perhitungan nilai  $k$  dan  $L_o$  dapat dihitung berdasarkan :

$$k = 2,6 (\text{slope}/\text{intersep})$$

$$L_o = 1/(2,3 \cdot k \cdot \text{intersep}^3)$$

Keterangan:

y : nilai BOD hasil pengamatan  
t : waktu

### 3. Daily Difference Method (DDM)

Dihitung berdasarkan persamaan order pertama :

$$\begin{aligned} y &= L_0 (1-10^{-kt}) \\ dy/dt &= L_0 (-10^{-kt})(\ln 10)(-k) \\ \log(dy/dt) &= \log(2,303 \cdot kL_0) - kt \end{aligned}$$

Nilai  $\log(dy/dt)$  diplotkan dengan nilai tengah waktu sehingga diperoleh nilai slope sebagai nilai  $-k$  dan intersep sebagai nilai  $\log(2,303 \cdot kL_0)$ . Selanjutnya nilai  $L_0$  dapat dihitung dengan persamaan:

$$L_0 = 10^{(\text{intersep})/2,303k}$$

Keterangan:

y : nilai BOD hasil pengamatan  
t : pengamatan hari ke 1, 2,3,...

Selanjutnya untuk evaluasi metode dilakukan dengan membandingkan BOD yang diharapkan dengan BOD hasil pengamatan. BOD hasil pengamatan merupakan hasil pengamatan di laboratorium selama 7 hari. BOD yang diharapkan dihitung berdasarkan nilai  $k$  dan  $L_0$  hasil perhitungan berbagai metode selanjutnya dihitung dengan persamaan :

$$BOD_t = L_0(1 - \exp^{-kt})$$

Dimana:

$BOD_t$  : Nilai BOD yang diharapkan berdasarkan nilai  $k$  dan  $L_0$  (mg/L)

$L_0$  : BOD *ultimate* (mg/L)

$k$  : Laju BOD (per hari)

$t$  : Waktu (hari)

Untuk mengetahui metode yang mempunyai akurasi, validitas dan *good fitter* lebih tinggi dilakukan beberapa analisis (Cutrera *et al.*, 1999; Singh, 2004; Oke & Akindahunsi, 2005; Oke *et al.*, 2009) sebagai berikut:

1. Berdasarkan nilai BOD hasil pengamatan dan BOD yang diharapkan untuk mengevaluasi metode yang paling baik dengan penjumlahan mutlak nilai BOD yang diharapkan dan BOD hasil

pengamatan (D). Nilai D paling kecil menunjukkan metode yang paling baik untuk pengestimasi parameter BOD yaitu  $k$  dan  $L_0$ .

Nilai D dihitung dengan formula:

$$D = \sum_{i=1}^k (O_i - E_i)/E_i$$

Dimana:

D : penjumlahan mutlak perbedaan antara BOD hasil pengamatan dan BOD yang diharapkan

$O_i$  : BOD hasil pengamatan

$E_i$  : BOD yang diharapkan

### 2. Bias Total (*Total error (Err<sup>2</sup>)*)

*Total error* merupakan penjumlahan selisih kuadrat dari nilai yang diharapkan dan nilai hasil observasi. Nilai ini dianggap sebagai ukuran variasi dari nilai yang diharapkan, yang dijelaskan oleh nilai sebenarnya yang merupakan hasil pengukuran. Nilai *total error* yang relatif rendah menunjukkan bahwa metode tersebut mempunyai akurasi, validitas dan *good fitness* yang lebih tinggi. *Total error* dapat dihitung dengan persamaan:

$$Err^2 = \sum_{i=1}^n (Y_{ob} - Y_{ex})^2$$

### 3. Coefficient of determination (CD)

*Coefficient of determination* (CD) merupakan proporsi variasi data yang diharapkan yang dapat dijelaskan oleh data sebenarnya. Nilai CD yang relatif tinggi menunjukkan bahwa metoda tersebut mempunyai akurasi, validitas dan *good fitness* yang relatif tinggi. Nilai CD dapat dihitung dengan persamaan:

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{ob} - \bar{Y}_{ex})^2 - \sum_{i=1}^n (Y_{ob} - Y_{ex})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_{ob} - \bar{Y}_{ex})^2}$$

### 4. Model kriteria seleksi (*Model of selection criteria/MS*)

Model kriteria seleksi ditafsirkan sebagai proporsi variasi data yang

diharapkan oleh data sebenarnya. Seperti halnya nilai CD, nilai MSC yang relatif tinggi menunjukkan bahwa metode tersebut mempunyai akurasi, validitas dan *good fitness* yang relatif tinggi pula. Nilai MSC dapat dihitung dengan persamaan:

$$MSC = \ln \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{ob} - \bar{Y}_{ob})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_{ob} - Y_{ex})^2} - \frac{2p}{n}$$

Keterangan:

- $Y_{ob}$  : Nilai BOD hasil pengamatan
- $Y_{ex}$  : Nilai BOD yang diharapkan berdasarkan  $L_0$  dan  $k$
- $\bar{Y}_{ob}$  : Rata-rata nilai BOD hasil pengamatan
- $\bar{Y}_{ex}$  : Rata-rata nilai BOD yang diharapkan berdasarkan  $L_0$  dan  $k$
- $p$  : Jumlah parameter
- $n$  : Jumlah data

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai laju BOD ( $k$ ) tertinggi diperoleh dengan metode *least square method* (LSM) diikuti *daily different method* (DDM) dan selanjutnya *Thomas graphical method* (Tabel 1). Berdasarkan analisis Anova terdapat perbedaan yang nyata pada masing-masing metode ( $p < 0,1$ ).

Nilai BOD ultimate ( $L_0$ ) tertinggi diperoleh pada pengamatan ke tiga dengan metode LSM yaitu sebesar 16,11 mg/L (Tabel 2). Hasil Anova menunjukkan adanya perbedaan yang nyata antara masing-masing metode perhitungan ( $p < 0,1$ ).

Gambar 1 menunjukkan bahwa nilai BOD yang diharapkan berdasarkan metode *least square method* (LSM) cenderung lebih dekat dengan nilai BOD hasil pengamatan. Hal ini dapat diartikan bahwa metode LSM mempunyai akurasi yang lebih tinggi dibandingkan metode TGM dan DDM.

Berdasarkan Tabel 3 diperoleh bahwa nilai  $D$ , pada metode LSM mempunyai nilai paling kecil. Hal ini menunjukkan bahwa metode LSM merupakan metode yang mempunyai tingkat akurasi, validitas dan *good fitness* paling tinggi.

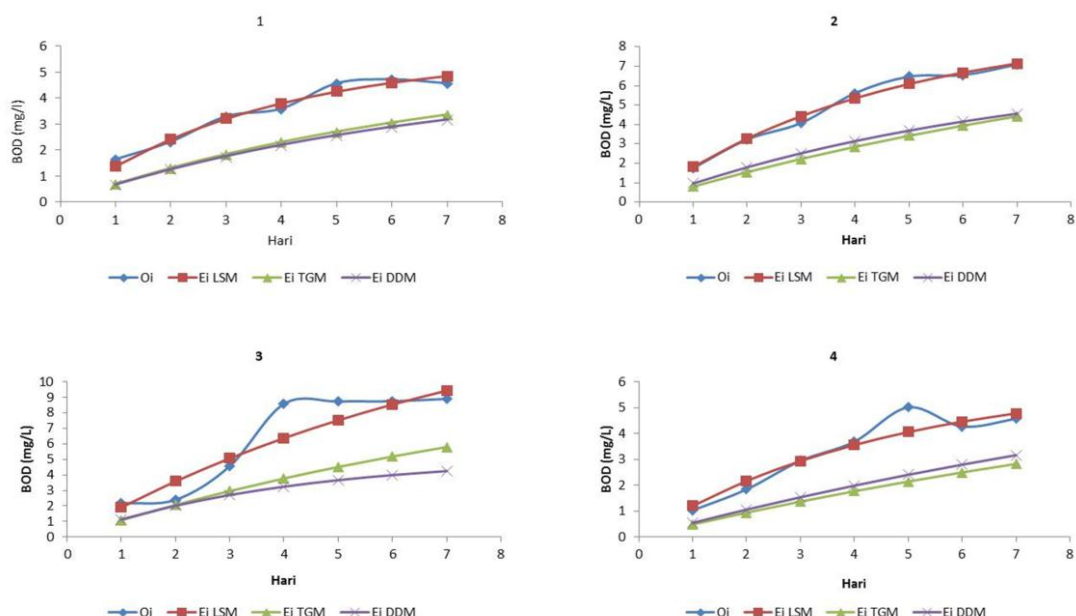
Selanjutnya nilai *total error* menunjukkan bahwa metode LSM mempunyai rentang nilai paling kecil yaitu berkisar 0,33 – 8,4 dibandingkan dengan metode TGM dan DDM yang mempunyai nilai lebih dari 10. Hal ini menunjukkan bahwa metode LSM merupakan metode yang mempunyai tingkat akurasi, validitas dan *good fitness* paling tinggi.

Tabel 1. Nilai laju BOD ( $k$ ) (per hari) masing-masing metode pengamatan parameter BOD

Pengamatan	LSM	TGM	DDM
1	0,278	0,139	0,149
2	0,227	0,088	0,145
3	0,126	0,095	0,248
4	0,216	0,065	0,067

Tabel 2. Nilai BOD *ultimate* ( $L_0$ ) (mg/L) masing-masing metode pengamatan parameter BOD

Pengamatan	LSM	TGM	DDM
1	5,56	5,42	4,91
2	8,98	9,62	7,15
3	16,11	11,95	5,16
4	6,10	7,74	8,46



Gambar 1. Nilai BOD hasil pengamatan ( $O_i$ ) dan BOD yang diharapkan berdasarkan metode *Least square methods* ( $E_i$ LSM), *Thomas Graphical Methods* ( $E_i$ TGM) dan *Daily Different methods* ( $E_i$ DDM)

Tabel 3. Evaluasi akurasi, validitas dan good fitness metode *Least square methods* (LSM), *Thomas Graphical Methods* (TGM) dan *Daily Different methods* (DDM) berdasarkan Nilai D, *total error*, CD dan MSC.

Metode/ pengamatan	Nilai D			
	1	2	3	4
LSM	0,19	0,04	0,19	0,10
TGM	5,04	6,20	5,14	6,96
DDM	5,59	4,90	7,10	5,44
<i>Total error (Err<sup>2</sup>)</i>				
LSM	0,33	0,36	8,40	1,14
TGM	13,34	37,94	67,22	21,69
DDM	15,59	31,06	103,29	16,67
<i>Coefficient of determination (CD)</i>				
LSM	0,96	0,98	0,85	0,91
TGM	0,598	0,35	0,39	0,31
DDM	0,33	0,398	0,24	0,38
<i>Model of selection criteria (MSC)</i>				
LSM	2,08	4,18	3,92	2,41
TGM	-1,01	-1,08	-0,52	-1,15
DDM	-1,31	-0,37	-1,24	-0,699

Nilai tertinggi berdasarkan CD adalah metode LSM dengan kisaran sebesar 0,85-0,98 yang berarti bahwa metode LSM merupakan metode yang mempunyai tingkat akurasi, validitas dan *good fitness* paling tinggi. Hasil uji MSC menunjukkan bahwa

nilai tertinggi adalah metode LSM. Dengan demikian metode LSM merupakan metode yang mempunyai tingkat akurasi, validitas dan *good fitness* paling tinggi. Sementara hasil uji untuk metode TGM dan DDM mempunyai nilai negatif. Hal ini sesuai

dengan hasil penelitian Oke & Akindahunsi (2005) yang menunjukkan bahwa metode LSM merupakan metode yang paling baik sementara pilihan metode terakhir adalah yang memiliki nilai CD dan MSC bernilai negatif. Pada pengamatan ini yang mengandung nilai CD dan MSC negatif adalah metode TGM dan DDM.

## KESIMPULAN

Nilai laju BOD (k) dan BOD ultimate berbeda nyata antara *Least square method*, *Thomas graphical method* dan *daily different method*. Berdasarkan nilai D, *total error*, CD dan MSC, metode *least square method* (LSM) merupakan metode yang mempunyai akurasi, validitas dan *good fitness* paling tinggi, sedangkan *Thomas graphical method* dan *daily different method* mempunyai CD dan MSC yang negatif.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdelrasoul FM. 2001. A comparative study of the BOD rate constant of industrial wastewater and sewage. *Sixth International Water Technology Conference, IWTC, Alexandria, Egypt*
- Astono W, Saeni MS, Lay BW, Soemarto S. 2008. Pengembangan model DO-BOD dalam pengelolaan kualitas air Sungai Ciliwung. *Forum Pascasarjana 31 (1) : 37-45*
- Cutrera, G., L. Manfredi, C. E. del Valle., J.F González. 1999. On the determination of the kinetic parameters for the BOD test. *Water SA 25 (3): 377 – 379*
- Dhage SS, Dalvi AA, Prabhu D. 2012. Reaction kinetics and validity of BOD test for domestic wastewater released in marine ecosystems. *Environ. Monit. Assess 184: 5301-5310*
- Oke, I.A., A.A. Akindahunsi, 2005. A Statistical Evaluation of Methods of Determining BOD Rate. *Journal of Applied Sciences Research 1(2): 223-227*
- Oke, I.A., J.A. Otun, D.B. Adie. 2009. An assessment of selected methods in environmental pollution control. *Journal of Food, Agriculture & Environment 7 (1) : 186 -191*
- Salmin. 2005. Oksigen terlarut (do) dan kebutuhan oksigen biologi (bod) sebagai salah satu indikator untuk menentukan kualitas perairan. *Oseana XXX (3): 21-26.*
- Singh B. 2004. Determination of BOD kinetic parameters and evaluation of alternate methods. *Thesis. Department Of Biotechnology & Environmental Sciences. Thapar Institute Of Engineering & Technology. p 74*
- Siwiec, T., L.Kiedrynska, K. Abrowicz, A. Rewicka, P. Nowak. 2011. BOD measuring and modelling methods – review. *Ann. Warsaw Univ. of Life Sci. – SGGW Land Reclam. 43 (2): 143-153*
- Tchobanoglous G, Burton FL, Stensel HD. 2003. *Waste water engineering ; Treatment and reuse. 4<sup>th</sup> edition. Mc. Graw Hill. p 1818*