

Penentuan Daya Tampung Sungai Mayang Terhadap Beban Pencemaran Menggunakan Persamaan Streeter-Phelps

Determination of Mayang River Capacity Towards Pollution Load Using Streeter-Phelps Equation

Sri Wahyuningsih^{1✉}, Elida Novita¹, Kiki Paradiba²

¹Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Jember

²Program Studi Teknik Pertanian, Universitas Jember

✉Komunikasi Penulis, email: sriwahyuningsih.ftp@unej.ac.id

DOI: <http://dx.doi.org/10.23960/jtep-Lv10i4.496-503>

Naskah ini diterima pada 30 Juni 2020; revisi pada 4 Desember 2020; disetujui untuk dipublikasikan pada 27 Desember 2021

ABSTRACT

The Mayang River in Jember Regency has a length of approximately 145.50 km which is the longest river and can irrigate an area of 5,860 hectares. The use of the Mayang River by the community can produce waste, both domestic waste, agricultural waste, and livestock waste. Waste that enters directly into river bodies can cause a decrease in river water quality and can create a pollution load. Therefore, the measurement of the load capacity of the Mayang River was conducted. Mayang River water samples were taken using the grab sampling method, while the river's capacity was determined using the Streeter Phelps method. The results showed that the average value of the Mayang River pollution load was 219,483 kg/day. Some of the parameters used to determine the carrying capacity of the river are the daily deoxygenation rate of 0.137 mg/L and the daily reaeration rate of 1.097 mg/L. It has a critical point (t_c) of 0.186, a critical distance (X_c) of 4.753 km, and a critical deficit (D_c) of 0.281 mg/L. Based on these parameters, it is concluded that the Mayang River can accommodate a pollution load of 1.5 kg/day and can carry out proper purification.

Keywords : *grab sampling method, Streeter Phelps, the deoxygenation rate, the reaeration rate*

ABSTRAK

Sungai Mayang yang berada di Kabupaten Jember memiliki panjang kurang lebih 145,50 km dan merupakan sungai terpanjang di Kabupaten Jember, serta mampu mengairi lahan seluas 5.860 hektar. Adanya aktivitas pemanfaatan Sungai Mayang oleh masyarakat dapat menghasilkan limbah, baik limbah domestik, limbah pertanian, maupun limbah peternakan. Limbah yang masuk langsung ke badan sungai dapat menyebabkan penurunan kualitas air sungai dan dapat menimbulkan beban pencemaran. Oleh karena itu dilakukan pengukuran daya tampung beban pencemaran pada Sungai Mayang. Pengambilan sampel air Sungai Mayang menggunakan metode *grab sampling*, sedangkan penentuan daya tampung sungai dapat menggunakan metode *Streeter Phelps*. Hasil penelitian menunjukkan nilai rata-rata beban pencemaran Sungai Mayang sebesar 219.483 kg/hari. Beberapa parameter yang digunakan untuk menentukan daya tampung sungai yakni nilai laju deoksigenasi sebesar 0,137 mg/L.hari dan nilai laju reaerasi sebesar 1,097 mg/L.hari. Memiliki titik kritis (t_c) sebesar 0,186, jarak kritis (X_c) sebesar 4,753 km, dan defisit kritis (D_c) sebesar 0,281 mg/L. Berdasarkan parameter tersebut dinyatakan bahwa Sungai Mayang mampu menampung beban pencemaran sebesar 1,5 kg/hari dan dapat melakukan purifikasi dengan baik.

Kata kunci: *laju deoksigenasi, laju reaerasi, metode grab sampling, Streeter Phelps*

I. PENDAHULUAN

Sungai adalah alur atau wadah air alami atau buatan berupa jaringan pengaliran air beserta air di dalamnya, mulai dari hulu sampai hilir, dengan dibatasi kanan dan kiri oleh garis

sempadan. Sempadan sungai berfungsi sebagai ruang penyangga antara ekosistem sungai dan daratan, agar fungsi sungai dan kegiatan manusia tidak saling terganggu (Peraturan Pemerintah Nomor 38 Tahun 2011).

Pada dasarnya sungai mempunyai kemampuan untuk membersihkan polutan yang masuk secara alamiah yang disebut dengan kapasitas asimilasi (*assimilative capacity*). Kemampuan pemulihan pada setiap sungai tidak sama karena bergantung pada karakteristik hidrologis sungai serta beban limbah yang masuk ke sungai. Kapasitas asimilasi berhubungan dengan daya tampung sungai dalam menerima beban pencemaran (Dani *et al.*, 2015).

Pencemaran air adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya (Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001). Sedangkan daya tampung beban pencemaran air adalah kemampuan air pada suatu sumber air, untuk menerima masukan beban pencemaran tanpa mengakibatkan air tersebut menjadi tercemar (Menteri Lingkungan Hidup, 2003)

Salah satu indikator untuk mengetahui daya tampung sungai yakni dengan mengamati perubahan nilai DO (*Dissolved Oxygen*). Perubahan konsentrasi DO pada perairan dipengaruhi oleh proses pengurangan oksigen terlarut (deoksigenasi) akibat aktivitas bakteri dalam menguraikan bahan organik dalam air (dekomposisi bahan organik) serta proses peningkatan oksigen terlarut (reaerasi) yang disebabkan oleh turbulensi aliran sungai (Arbie *et al.*, 2015). Metode yang dijadikan acuan dalam pengukuran daya tampung beban pencemaran yakni sesuai dengan Kep. Men. LH Nomor 110 Tahun 2003 tentang Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran air menggunakan metode *Streeter Phelps*. Tujuan dari penelitian ini untuk menentukan daya tampung sungai Mayang terhadap beban pencemaran.

II. BAHAN DAN METODE

Lokasi pengambilan sampel dan pengukuran debit aliran dilakukan di sepanjang saluran Sungai Mayang segmen Desa Jatimulyo sampai Desa Kotablater sepanjang 5 km. Pengukuran dilakukan pada tanggal 8 sampai 23 Desember 2019 di Lab. Teknik Pengendalian dan

Konservasi Lingkungan (TPKL), Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

Alat yang digunakan meliputi GPS, kamera, botol sampel, *cool box*, *current meter unit*, *stopwatch*, *rollmeter*, pasak, termometer, *beaker glass*, oven, desikator, neraca analitik, cawan porselin, cawan aluminium, pipet suntik, TDS meter, pH meter, botol winkler 150 ml, erlenmeyer 250 ml, labu ukur 1000 ml, labu ukur 100 ml, spektrofotometer, COD reaktor, botol semprot, gelas ukur 10 ml, turbidimeter, penjepit, dan corong. Bahan yang digunakan antara lain sampel air sungai Mayang, larutan MnSO_4 , larutan Alkali-iodida Azida, larutan H_2SO_4 0,1 N, larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,025 N, Amilum, aquades, reagent COD, dan kertas saring 40 μm .

2.1. Metode Penelitian

Penentuan titik pengambilan didasarkan atas kemudahan akses, biaya maupun waktu dalam penelitian. Pengambilan sampel menggunakan metode *grab sampling*.

2.2. Perhitungan Beban Pencemaran

Sitorus dan Simangunsong (2013) menyatakan bahwa nilai beban pencemaran dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$B_{\text{aktual}} = C_{\text{aktual}} \times Q \quad (1)$$

dimana B_{aktual} adalah beban aktual hasil pengamatan (ton/hari), C_{aktual} adalah konsentrasi hasil pengamatan (mg/L), dan Q adalah debit aliran dalam satuan m^3/detik .

2.3. Perhitungan K' dan BOD Ultimate

Nilai K dapat ditentukan dengan menggunakan metode *least square*. Berdasarkan hasil pengamatan BOD selama 10 hari dengan rentang waktu 2 hari. Dan berikut perhitungan laju BOD menggunakan metode *least square*.

$$\sum y' = na + b \sum y \quad (2)$$

$$\sum yy' = a \sum y + b \sum y^2 \quad (3)$$

dimana n adalah jumlah data contoh uji, dan y adalah BOD_t (mg/L).

Menurut Kalamkar *et al.* (2014:127) menyatakan bahwa laju BOD (K) yakni dapat

dinyatakan dengan persamaan $K = -b$. Sedangkan menurut Marske *et al.* (1972) dan Metcalf and Eddy (1991) dalam Kalamkar (2014), nilai L_0 (BOD ultimate, mg/L) dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$L_0 = \frac{BOD_5}{1 - e^{-kt}} \quad (4)$$

dimana BOD_5 adalah BOD pada hari ke-5, e adalah nilai eksponen (2,7180), dan t adalah waktu pengamatan.

2.4. Perhitungan Laju Deoksigenasi

Koefisien deoksigenasi (K_d) yang digunakan untuk perhitungan menggunakan Persamaan menurut Hydroscience (1971), berikut :

$$K_d = 0,3 \times \left(\frac{H}{8}\right)^{-0,434} \quad (5)$$

Adapun konstanta deoksigenasi yang memiliki temperatur air berbeda (K_dT) dapat menggunakan persamaan yang ditentukan oleh Chrunchill yakni sebagai berikut (Davis dan Cornwell, 1991):

$$K_dT = K_d \times 1,047^{T-20} \quad (6)$$

Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 110 Tahun 2003, laju deoksigenasi (r_D) dihitung melalui persamaan berikut:

$$r_D = K_dT \times L_0 \times e^{-kt} \quad (7)$$

dimana r_D dinyatakan dalam mg/(L.hari), H adalah kedalaman rata-rata sungai (m), dan T adalah temperatur sungai ($^{\circ}\text{C}$)

2.5. Perhitungan Laju Reaerasi

Berikut persamaan yang digunakan dalam menentukan nilai laju reaerasi berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 110 Tahun 2003:

$$D_{LT} = 1,760 \times 10^{-4} \times 1,037^{T-20} \quad (8)$$

$$K_r = \frac{294(D_{LT} \times v)^{1/2}}{H^{3/2}} \quad (9)$$

$$r_R = K_r \times (C_s - C) \quad (10)$$

Adapun konstanta reaerasi yang memiliki nilai temperatur air berbeda, dapat dihitung dengan persamaan berikut:

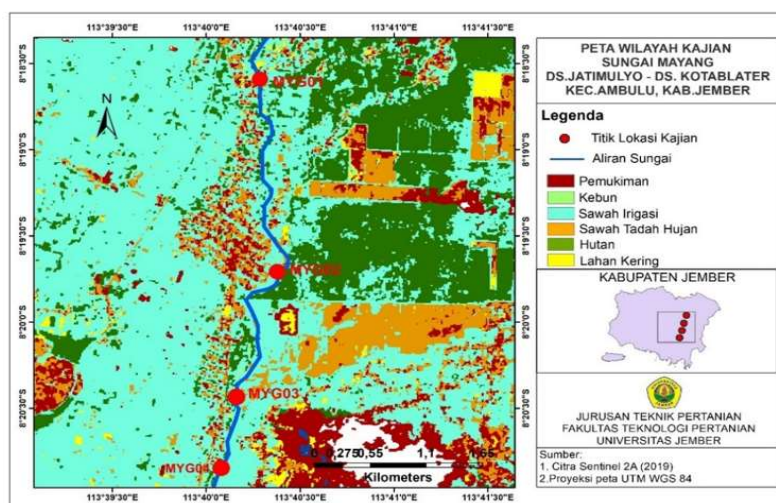
$$K_rT = K_r \times 1,047^{T-20} \quad (11)$$

dimana D_{LT} adalah koefisien difusi molekular untuk oksigen pada temperatur ke T (m^2/hari), v adalah kecepatan aliran rata-rata (m/detik), r_R adalah laju reaerasi ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{hari}^{-1}$), K_r adalah konstanta reaerasi (hari^{-1}), C_s adalah konsentrasi oksigen terlarut jenuh (mg/L), dan C adalah konsentrasi oksigen terlarut (mg/L).

2.6. Kurva Penurunan Oksigen

Pada kurva penurunan oksigen, dapat diketahui titik kritis dan letak dari titik kritis suatu kandungan oksigen terlarut dalam air. Berikut persamaan yang disarankan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 110 tahun 2003, yakni :

$$t_c = \frac{1}{K_rT - K_dT} \ln \left[\left(\frac{K_rT}{K_dT} \right) \left(1 - \frac{D_0(K_rT - K_dT)}{K_dT \times L_0} \right) \right] \quad (12)$$



Gambar 1. Titik Lokasi Penelitian Sungai Mayang Segman Desa Jaimulyo – Desa Kotablater

$$X_c = t_c \times v \quad (13)$$

$$D_c = \frac{KdT}{KrT} L_0 \cdot e^{-KdT \cdot t_c} \quad (14)$$

Persamaan *Streeter Phelps* untuk menghitung defisit oksigen pada setiap titik (Chapra, 1997; Lamb, 1985 dalam Hendrasarie dan Cahyarani, 2010) sebagai berikut :

$$D_t = \frac{KdT \cdot L_0}{KrT - KdT} (e^{-KdT \cdot t} - e^{-KrT \cdot t}) + D_0 \cdot e^{-KrT \cdot t} \quad (15)$$

dimana t_c adalah waktu yang dibutuhkan untuk mencapai titik kritis (hari), X_c adalah letak kondisi kritis (km), D_0 adalah Defisit oksigen pada $t = 0$ (mg/L), D_c adalah defisit oksigen kritis, D_t adalah defisit oksigen pada waktu ke t .

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Beban Pencemaran Sungai Mayang

Beban pencemaran dipengaruhi oleh nilai debit dan nilai BOD aktual. Hasil dari perhitungan dari beban pencemaran Sungai Mayang ditampilkan pada Tabel 1. Nilai beban pencemaran tertinggi di titik MYG04 yakni sebesar 271,901 kg/hari dan terendah berada pada MYG02 yakni sebesar 169,176 kg/hari. Tinggi rendahnya beban pencemaran dipengaruhi oleh nilai debit dan konsentrasi BOD. Semakin besar nilai debit dan konsentrasi BOD pada sungai, maka beban pencemaran yang terkandung pada air juga besar. Walaupun konsentrasi BOD MYG04 rendah, namun memiliki debit terbesar diantara titik lokasi lainnya. Hal tersebut sesuai dengan Yuliastuti, (2011) tinggi rendahnya beban pencemaran di perairan berhubungan dengan debit aliran dan kadar konsentrasi pencemar.

3.2. Laju Deoksigenasi dan Laju Reaerasi Sungai Mayang

Hasil perhitungan laju deoksigenasi dan laju

reaerasi pada Sungai Mayang diberikan pada Tabel 2. Nilai r_D tertinggi yakni pada MYG02 sebesar 0,249 mg.L⁻¹.hari⁻¹, tingginya nilai r_D dipengaruhi oleh KdT dan L_t . Hal tersebut dikarenakan MYG02 memiliki profil sungai yang lebih dangkal daripada titik lokasi lainnya dan memiliki kandungan oksigen terlarut yang baik di perairan, sehingga mempermudah mikroba melakukan penguraian bahan organik. Menurut Wahyuningsih *et al.* (2020b), profil dasar sungai yang tidak rata dan dipenuhi bebatuan serta kerikil, sehingga terjadi turbulensi dan mempercepat proses penambahan oksigen (reoksigenasi).

Nilai r_D terendah berada pada titik lokasi MYG04 sebesar 0,088 mg.L⁻¹.hari⁻¹. Konstanta dekomposisi semakin kecil seiring bertambahnya kedalaman sungai, karena kandungan oksigen semakin sedikit dan menyebabkan mikroba kesulitan dalam menguraikan bahan organik di perairan. Hal tersebut sesuai pernyataan Dharmawan *et al.*, (2020) persamaan Hydroscience digunakan karena indikasi bahwa kedalaman (H) sungai mempengaruhi kehidupan mikroorganisme karena semakin dalam sungai semakin rendah suplai oksigen terlarut dan sedikit mikroba yang dapat bertahan hidup pada kondisi tersebut.

Laju reaerasi tertinggi terdapat pada titik lokasi MYG02 yakni sebesar 1,275 mg/L. Tingginya laju reaerasi dipengaruhi oleh konstanta reaerasi terhadap temperatur sungai (KrT) dan defisit oksigen terlarut (D) pada perairan. Menurut Wahyuningsih *et al.* (2019-a) konstanta reaerasi merupakan fungsi kecepatan aliran sungai (v) dan kedalaman (H). Semakin besar kecepatan aliran dan semakin dangkalnya sungai maka konstanta reaerasi semakin besar, begitu pun sebaliknya. Hal tersebut sesuai dengan kondisi MYG02 yang memiliki profil sungai lebih dangkal

Tabel 1. Beban Pencemaran Sungai Mayang

Titik Pantau	BOD (mg/L)	Debit (m ³ /detik)	Beban Pencemaran (kg/hari)
MYG01	1,124	1,984	192.614
MYG02	1,199	1,632	169.176
MYG03	1,225	2,308	244.239
MYG04	1,162	2,709	271.901
Rata-Rata	1,177	2,16	219.483

diantara lokasi penelitian lainnya.

Nilai r_R terendah berada pada MYG03 yakni sebesar $0,935 \text{ mg.L}^{-1}.\text{hari}^{-1}$. Hal tersebut dikarenakan MYG03 memiliki profil sungai yang dalam diantara titik lokasi lainnya. Jadi, Astono (2010) menyatakan apabila semakin besar kecepatan aliran dan ditambah dengan bentuk sungai yang dangkal, maka semakin besar nilai laju reaerasi dari suatu perairan tersebut.

Selisih DO aktual dan DO saturasi juga berpengaruh pada nilai laju reaerasi yang didapat. Menurut Wahyuningsih *et al.* (2019b) selisih tersebut disebabkan oleh limbah bahan organik yang mencemari sungai menghasilkan nilai DO aktual yang berbeda dari DO saturasi yang didapatkan dari nilai suhu air sungai.

3.3. Pemurnian Secara Alami (*Self Purification*) Sungai Mayang

Kemampuan pemulihan setiap sungai berbeda-beda, sesuai dengan karakteristik sungai tersebut. Hasil perhitungan purifikasi Sungai Mayang dari keempat titik ditampilkan pada Tabel 4. Kurva

penurunan oksigen (*DO sag curve*) pada keempat titik pengambilan Sungai Mayang dengan jarak 5 km ditampilkan pada Gambar 1.

Gambar 1 menunjukkan grafik penurunan oksigen terlarut terbesar terjadi pada MYG03. Hal ini disebabkan oleh laju reaerasi pada MYG03 bernilai kecil dan kandungan BOD yang besar membuat penurunan oksigen terlarut pada MYG03 menjadi lebih cepat dari titik lokasi lainnya. Sedangkan titik lokasi yang mengalami pemurnian terlebih dahulu yakni MYG04. Faktor yang berpengaruh yakni nilai BOD pada MYG04 tidak besar, yakni $1,162 \text{ mg/L}$ dan laju reaerasi yang tinggi yakni $1,17 \text{ mg/(L.hari)}$. Oleh karena itu pada MYG04 pemurnian alami yang terjadi berlangsung cepat dibandingkan dengan titik lokasi lainnya. Menurut Wahyuningsih *et al.* (2020a) ketika air mengalami pemurnian alami, maka konsentrasi bahan organik mengalami penurunan pada setiap jarak yang ditempuh. Akibatnya oksigen akan dimanfaatkan mikroorganisme untuk mendegradasi bahan organik.

Tabel 2. Perhitungan Laju Deoksigenasi

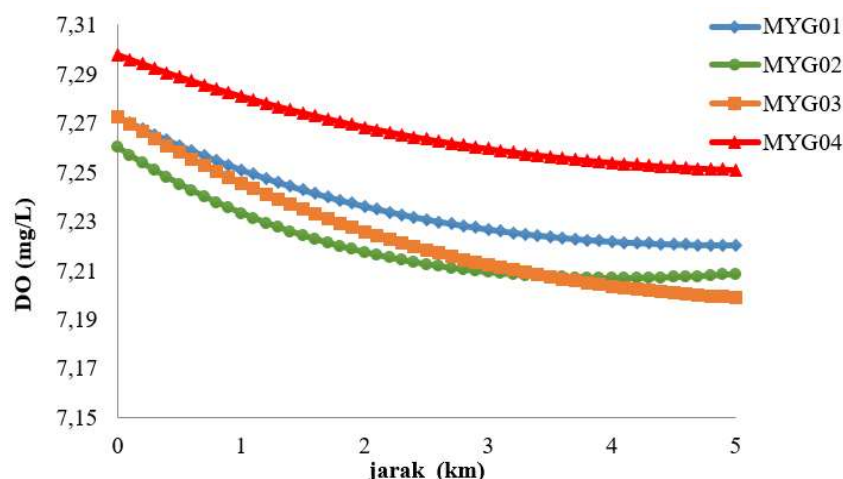
Titik Pantau	$L_t \text{ (mg/L)}$	$KdT \text{ (hari)}$	$r_D \text{ (mg.L}^{-1}.\text{hari}^{-1})$
MYG01	0,087	1,355	0,117
MYG02	0,159	1,564	0,249
MYG03	0,069	1,348	0,093
MYG04	0,071	1,228	0,088
Rata-rata	0,096	1,374	0,137

Tabel 3. Perhitungan Laju Reaerasi

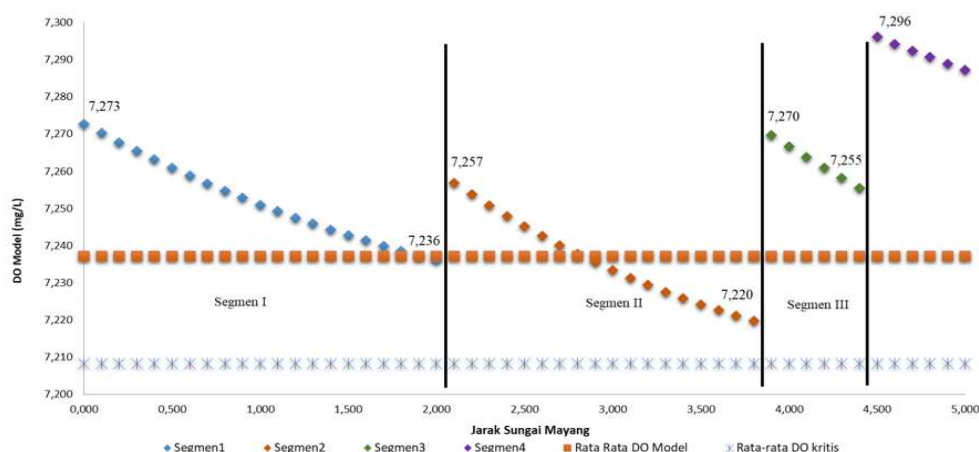
Titik Pantau	$D \text{ mg/L}$	$KrT \text{ hari}$	$r_R \text{ mg/L.hari}$
MYG01	0,222	4,547	1,008
MYG02	0,177	7,197	1,275
MYG03	0,207	4,507	0,935
MYG04	0,312	3,743	1,169
Rata-rata	0,230	4,999	1,097

Tabel 4. Perhitungan Purifikasi Sungai Mayang

Titik Pantau	$r_D \text{ (mg/L.hari)}$	$r_R \text{ (mg/L.hari)}$	$t_c \text{ (hari)}$	$X_c \text{ (km)}$	$DOc \text{ (mg/L)}$
MYG01	0,12	1,01	0,202	4,972	7,220
MYG02	0,25	1,27	0,158	4,035	7,207
MYG03	0,09	0,93	0,233	5,995	7,198
MYG04	0,09	1,17	0,152	4,008	7,275
Rata-rata	0,14	1,10	0,186	4,753	7,225



Gambar 1. Penurunan Oksigen Terlarut Sungai Mayang



Gambar 2. Penurunan DO di Setiap Titik Pengambilan Sungai Mayang

Tabel 5. Penurunan DO di Setiap Segmen

Segmen	DO _{akt} (mg/L)	DO model (mg/L)	DO _c (mg/L)	X _c (km)
1	7,27	7,273	7,22	4,972
2	7,26	7,236	7,21	4,035
3	7,27	7,220	7,20	5,995
Rata-rata	7,27	7,243	7,08	5,001

3.4. Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Mayang

Penurunan DO pada Tabel 5 dan Gambar 2 menunjukkan terjadinya penurunan oksigen terlarut pada setiap segmen dikarenakan adanya aktivitas mikroba yang membutuhkan oksigen terlarut dalam mendekomposisi bahan pencemar yang masuk ke badan air. Pada segmen 1 (MYG01 – MYG02) dengan panjang segmen sebesar 2 km, mengalami penurunan DO dari 7,273 mg/L hingga 7,236 mg/L (DO model). Segmen 2 (MYG02 – MYG03) dengan panjang segmen 1,8

km, mengalami penurunan DO sebesar 7,216 mg/L hingga 7,207 mg/L. Pada segmen 3 antara MYG03 – MYG04 dengan panjang segmen 0,6 km, mengalami penurunan DO sebesar 7,204 mg/L hingga 7,201 mg/L. Gambar 2 menunjukkan bahwa grafik DO model pada segmen 2 mengalami penurunan yang cukup besar. Adanya buangan limbah dari peternakan ayam, serta ditambah dengan limbah rumah tangga di sekitar sungai menyebabkan segmen 2 memiliki beban pencemaran yang besar.

Rata-rata DO model yang didapat dengan menggunakan metode Streeter Phelps yakni sebesar 7,215 mg/L, sedangkan DO kritisnya yakni sebesar 7,208 mg/L. Hal tersebut menyatakan bahwa nilai DO model dalam kondisi aman, dikarenakan masih berada di atas rata-rata kondisi kritisnya. Nilai BOD sisa digunakan untuk menentukan beban pencemaran sisa, didapat sebesar 1,5 kg/hari. Meskipun Sungai Mayang pada segmen Desa Jatimulyo sampai Desa Kotablater telah menerima beban pencemaran, tetapi masih mampu menerima beban pencemaran sebesar 1,5 kg/hari dan mengalami proses pemulihan sungai dengan adanya reaerasi.

IV. KESIMPULAN

Sungai Mayang segmen Desa Jatimulyo sampai Desa Kotablater memiliki nilai rata-rata laju deoksigenasi (r_D) harian sebesar 0,137 mg/L, lebih kecil daripada laju reaerasi harian (r_R) yakni sebesar 1,097 mg/L. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai rata-rata DO model lebih besar dibandingkan dengan nilai rata-rata DO kritis. Hal tersebut menandakan bahwa Sungai Mayang segmen Desa Jatimulyo sampai Desa Kotablater masih bisa melakukan pemulihan sungai dalam jangka waktu yang cukup dan masih mampu menampung beban pencemaran sebesar 1,5 kg/hari yang masuk ke badan sungai.

DAFTAR PUSTAKA

- Arbie, R.R., Nugraha, W.D., dan Sudarno. 2015. Studi kemampuan self purification pada Sungai Progo ditinjau dari parameter organik DO dan BOD (Point source : limbah sentra tahu Desa Tuksono, Kecamatan Sentolo, Kabupaten Kulon Progo, Provinsi D.I. Yogyakarta). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 4(3): 1–15.
- Astono, W. 2010. Penetapan nilai konstanta dekomposisi organik (K_d) dan nilai konstanta reaerasi (K_a) pada Sungai Ciliwung Hulu – Hilir. *Jurnal Ekosains*, 11(1): 40–45.
- Dani, T., Suripin, dan Sudarno. 2015. Analisis daya tampung beban cemar di DAS Bengawan Solo segmen Kota Surakarta dan Kabupaten Karanganyar dengan model Qual2kw. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 13(2): 92–102.
- Davis, M.L., dan D.A. Cornwell. 1991. *Introduction to Environmental Engineering*. Second Edition. Mc-Graw-Hill Inc. NewYork.
- Dharmawan, A., Wahyuningsih, S., Novita, E. 2020. Laju deoksigenasi Sungai Bedadung Hilir akibat pencemar organik. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 21(1): 109–117.
- Hendrasarie, N., dan Cahyarani. 2010. Kemampuan self purification Kali Surabaya, ditinjau dari parameter organik berdasarkan model matematis kualitas air. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 2(1): 1–11.
- Hydroscience, Inc. 1971. Simplified Mathematical Modelling of Water Quality prepared for the Mitre Corporation and the US Environmental Protection Agency: A Water Programs, Washington, DC. New Jersey.
- Kamlakar, S.G., Rai, R.K., dan Shinde, S.M. 2014. Determination of constants of BOD models. *Proceedings of 3rd IRF International Conference*. ISBN: 978-93-84209-15-5: 126–129.
- Marske, D.M., and Polkowski, L.B. 1972. Evaluation of methods for estimating biochemical oxygen demand parameters. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 44(10): 1987–2000.
- Menteri Negara Lingkungan Hidup. 2003. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 110 tentang Pedoman Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran Air Pada Sumber Air. Jakarta.
- Metcalf and Eddy. 1991. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse*. Mc Graw Hill Inc. Newyork.

- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001. *Pengelolaan Kualitas Air Dan Pengendalian Pencemaran Air*. Jakarta.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2011. *Sungai*. Jakarta.
- Sitorus, S., dan Simangunsong, B. 2013. Implementasi baku mutu air limbah berbasis daya tampung beban pencemaran badan air penerima pada kegiatan pertambangan batubara. *Jurnal Kimia Mulawarman*, 10(2): 51-57.
- Wahyuningsih, A., Novita, E., dan Imami, R. 2019a. Laju deoksigenasi dan laju reaerasi Sungai Bedadung segmen Desa Rowotamtu Kecamatan Rambipuji Kabupaten Jember. *Agritech*, 39(2): 89-96.
- Wahyuningsih, A., Novita, E., dan Ningtias, R. 2019b. Laju deoksigenasi dan laju reaerasi Sungai Bedadung segmen Desa Rowotamtu Kecamatan Rambipuji Kabupaten Jember. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 7(1): 1-7.
- Wahyuningsih, A., Novita, E., dan Afifah, S. 2020a. Daya tampung beban pencemaran Sungai Sumbertelak Kabupaten Jember menggunakan metode Streeter-Phelps. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 8(1): 110-118.
- Wahyuningsih, A., Novita, E., dan Annisa, M. 2020b. Penentuan laju deoksigenasi dan reoksigenasi Sungai Mayang segmen Desa Garahan Krajan sampai Desa Sumberjati, Kecamatan Silo, Kabupaten Jember Menggunakan Persamaan Streeter-Phelps. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 8(1): 79-88.