

Artikel Riset

Penentuan Koefisien Reaerasi Sungai Bedadung Hilir Metode Perubahan Defisit Oksigen (Studi Kasus di Kecamatan Balung, Jember)

***Determination of Reaeration Coefficient of Bedadung Hilir River Oxygen Deficit
Change Method (Case Study in Balung District, Jember)***

Sri Wahyuningsih*, Agus Dharmawan, Imamah

¹ Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember, Jalan Kalimantan No. 37 Kampus Tegalboto, Sumbersari, Jember, Indonesia, 68121

* Penulis korespondensi, e-mail: sriwahyuningsih.ftp@unej.ac.id

Abstrak

Oksigen terlarut (DO) merupakan parameter yang menentukan kesehatan perairan sungai. Suplai oksigen terlarut di perairan harus dapat terjaga untuk menunjang kehidupan organisme air. Suplai oksigen terlarut diperoleh dari pertukaran oksigen dari atmosfer ke badan air. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui besar koefisien reaerasi (penambahan oksigen) Sungai Bedadung bagian hilir menggunakan pendekatan perubahan DO. Pendekatan ini menggunakan model laju transfer massa oksigen dari atmosfer ke badan air. Data primer diperoleh dari pengukuran profil hidraulik, temperatur, dan DO sungai di tiga titik pantau Sungai Bedadung bagian hilir segmen Kecamatan Balung, Kabupaten Jember. Hasil menunjukkan nilai K_R di tiga titik pantau masing-masing 36,084; 47,397; dan 83,114/hari dan cenderung naik. Besar K_R ditentukan dari defisit oksigen dan waktu tempuh pengaliran air sungai. Rata-rata nilai K_R Sungai Bedadung adalah 55,532/hari. Nilai K_R yang tinggi menunjukkan kemampuan sungai yang mampu mensuplai oksigen secara alami.

Kata Kunci: defisit oksigen; dissolved oxygen; koefisien re-aerasi

Abstract

Dissolved oxygen (DO) is one of the essential parameters reflecting the river's ecological health. DO supply must be maintained to support the life of aquatic organisms. DO quantity obtained by oxygen transfer from the atmosphere to water. This research aimed to determine reaeration (continuous addition of oxygen) coefficients (K_R) of Bedadung Downstream using the exchange of DO deficit. This approach uses the rate of mass transfer of oxygen from the air to the river water. The raw data was obtained by measuring stream-flow, temperature, and DO at three observed station segments, Balung district, Jember. The result showed the values of the reaeration coefficient (3 stations) were 36,084, 47,397, and 83,114 /day sequentially and tended to line up. The amount of K_R obtained from the oxygen deficit and travel time of river water. The average K_R was 55.532/day. High K_R values indicate the ability of rivers that can supply oxygen naturally.

Keywords: oxygen deficit, dissolved oxygen, reaeration coefficients

1. Pendahuluan

Oksigen terlarut dalam air (DO) merupakan salah satu parameter penting yang mencerminkan status kualitas air sungai (Haider dkk., 2013a). Konsentrasi DO merupakan hasil interaksi dari beberapa proses seperti reaerasi atmosfer, fotosintesis, oksidasi, respirasi tanaman akuatik, dan sebagainya (Gualtieri dkk., 2002). Oksidasi pencemar organik oleh mikroorganisme menyebabkan DO sungai menurun. Pada kondisi alamiah, sungai juga mengalami proses penambahan oksigen karena terjadi pertukaran oksigen dari atmosfer ke badan air (Dharmawan dkk., 2020). Melalui proses penambahan oksigen tersebut maka bahan pencemar pada perairan dapat berkurang (Wahyuningsih dkk., 2019a).

Aerasi dari atmosfer merupakan sumber utama DO sungai. Aerasi menunjukkan terjadinya penambahan DO di badan air (Gualtieri dkk., 2002). Proses aerasi terjadi karena permukaan air dan atmosfer berada pada kondisi tidak setimbang (Haider dkk., 2013a). Transfer oksigen terjadi apabila kadar oksigen pada badan air belum mencapai tingkat jenuh (saturasi) (Effendi, 2003). Oleh sebab itu, ketika permukaan air kontak dengan atmosfer, akan terjadi penambahan oksigen ke badan air secara kontinyu hingga kondisi jenuh tercapai (Gualtieri dkk., 2002). Proses difusi oksigen ke badan air terjadi secara molekular dan turbulen, dimana erat hubungannya dengan parameter hidrodinamika sungai, seperti aliran, kecepatan, slope, kedalaman dan lebar sungai. Peningkatan kecepatan aliran air sungai akan menghasilkan turbulensi, dan sebagai hasil koefisien laju reaerasi (K_R) juga turut meningkat (Haider dkk., 2013b). Koefisien transfer massa oksigen (K_R) dari atmosfer ke badan air (reaerasi) dapat ditentukan menggunakan persamaan empiris atau dengan metode perubahan defisit oksigen.

Persamaan empiris pada penentuan K_R pernah dilakukan oleh O'Connor dan Dobbins (1958), Churchill dkk. (1962), dan Owens dkk. (1964) dengan mengukur variasi DO pada kondisi terkontrol. Akan tetapi persamaan empiris yang dikembangkan hanya didasarkan pada karakteristik hidrodinamika sungai yang dikaji, Persamaan tersebut tidak dapat diaplikasikan untuk semua tipe sungai seperti sungai dengan profil dalam dan lebar pada variasi aliran ekstrem. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui koefisien reaerasi (K_R) menggunakan metode perubahan defisit oksigen. Metode perubahan defisit oksigen merupakan metode eksperimental yang dasar penentuannya dari laju transfer massa (difusi) oksigen dari atmosfer ke badan air. Besar defisit oksigen diperoleh dari selisih DO saturasi dan DO aktual. Penelitian dilakukan di Sungai Bedadung bagian hilir di Kecamatan Balung Kabupaten Jember.

Sungai Bedadung merupakan sungai utama di DAS Bedadung yang memiliki total panjang sungai 46.875 meter (Pradana dkk., 2019). Sungai ini berperan dalam menyediakan air bagi kelangsungan hidup di daerah aliran sungai, seperti untuk baku air minum, irigasi pertanian, MCK, pengendali banjir dan lain sebagainya. Sungai Bedadung bagian hilir mengalir melewati 4 kecamatan, yaitu Kecamatan Rambipuji, Balung, Wuluhan dan Puger. Kajian mengenai penentuan koefisien reaerasi (K_R) Sungai Bedadung diperlukan untuk mengetahui angka koefisien penambahan oksigen ke badan air. Penelitian serupa terkait penentuan K_R Sungai Bedadung pernah dilakukan oleh Wahyuningsih dkk. (2019b) di Desa Curahmalang (Kec. Rambipuji) dan Wahyuningsih dkk. (2019a) di Desa Gumelar (Kec. Balung). Penelitian tersebut menggunakan persamaan empiris O'Connor and Dobbins (1958) dan diperoleh nilai K_R masing-masing 6.941 dan 3.245/hari. Persamaan yang dikembangkan oleh O'Connor dan Dobbins, (1958) untuk menentukan nilai K_R bergantung dari faktor kecepatan aliran (v) dan kedalaman (H) sungai. Sedangkan penelitian penentuan K_R menggunakan pendekatan perubahan defisit oksigen belum pernah dilakukan di Sungai Bedadung.

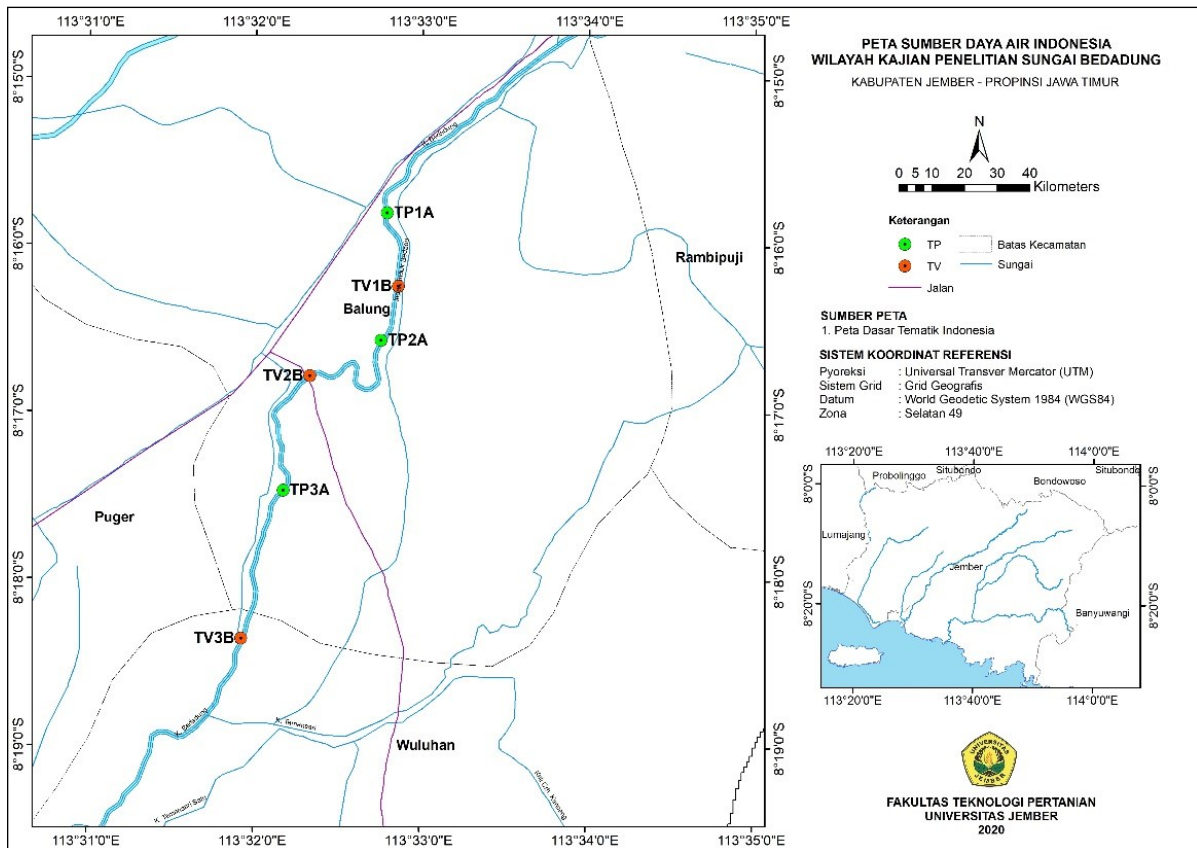
2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Bulan April 2018. Sungai Bedadung bagian hilir yang menjadi wilayah kajian berada di Kecamatan Balung Kab. Jember (Gambar 1). Data penelitian diperoleh dari pengukuran profil hidraulik, temperatur dan oksigen terlarut (DO) air sungai. Peralatan penelitian terdiri atas peralatan survei dan dokumentasi (antara lain GPS dan kamera), peralatan pengukuran profil hidraulik (antara lain *current meter*, alat ukur kedalaman, roll meter, *stopwatch*, dan kalkulator),

peralatan pengambilan contoh uji (antara lain *coolbox* dan botol contoh uji), dan peralatan analisa parameter temperatur dan DO (antara lain botol *winkler* 125 dan 250 mL, mikroburet 2 mL, buret 50 mL, corong, pipet suntik 1 mL, erlenmeyer 300 mL dan 2 L, pipet volumetrik 50 ml). Sedangkan bahan yang digunakan antara lain contoh uji air sungai dan *reagent* analisa DO yaitu larutan $MnSO_4$ alkali iodida azida, H_2SO_4 pekat, natrium tiosulfat, dan indikator kanji (amilum).

2.1 Penentuan lokasi dan pengukuran profil hidraulik

Pengukuran profil hidraulik dilakukan di tiga titik pantau Sungai Bedadung hilir (Tabel 1). Titik pengukuran ditentukan dengan mencari lokasi yang distribusi alirannya merata dan tidak ada aliran yang memutar (BSNI, 2015) serta berada pada lokasi setelah menerima zat pencemar (BSNI, 2008c). Kegiatan pengukuran profil hidraulik diawali dengan mengukur lebar sungai (L), membagi penampang sungai menjadi 10 pias dengan interval jarak yang sama, lalu mengukur kedalaman (H) di setiap interval jarak sehingga memperoleh luas penampang basah (A) tiap pias (Rahayu dkk., 2009). Pengukuran kecepatan aliran (v) di masing-masing pias menggunakan *current meter*.



Gambar 1. Lokasi penelitian Sungai Bedadung hilir

Tabel 1. Titik penelitian Sungai Bedadung hilir

TP	Titik pantau		Jarak*) (km)	TV	Titik verifikasi	
	Lintang	Bujur			Lintang	Bujur
TP1A	113° 32' 47.2" E	8° 15' 48.2" S	1.1	TV1B	113° 32' 51.3" E	8° 16' 14.5" S
TP2A	113° 32' 45.2" E	8° 16' 34.0" S	1.5	TV2B	113° 32' 19.6" E	8° 16' 46.9" S
TP3A	113° 32' 10.2" E	8° 17' 28.1" S	1.8	TV3B	113° 31' 55.3" E	8° 18' 21.4" S

Keterangan: *) jarak antara TP dan TV

2.2 Pengukuran temperatur dan DO air

Pengambilan contoh uji air sungai untuk analisa DO dilakukan secara *grab* (sesaat) dan berdasarkan SNI 6989.57-2008 (BSNI, 2008c). Pengukuran temperatur dan DO masing-masing dilakukan menggunakan termometer (BSNI, 2008b) dan yodometri (BSNI, 2008a).

2.3 Pengolahan dan analisis data

Metode pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif untuk mengkaji koefisien reaerasi Sungai Bedadung bagian hilir. Parameter lapang dan laboratorium yang diperoleh digunakan sebagai input variabel nilai. Data dianalisis secara deskriptif yang didukung dengan tabulasi. Untuk menentukan koefisien penambahan oksigen perairan (reaerasi), yang dinyatakan dalam K_R , digunakan pendekatan perubahan defisit oksigen (DO).

Pendekatan perubahan defisit oksigen digunakan dengan asumsi tanpa ada pengaruh beban BOD (zat pencemar) (Lee dan Lin, 2007). Perubahan defisit DO per waktu akibat pertukaran oksigen dari atmosfer ke permukaan air (dD/dt) (Thomann dan Mueller, 1987; Lee dan Lin, 2007) adalah:

$$\frac{dD}{dt} = -K_R \times (DO_S - DO) \Rightarrow \frac{dD}{dt} = -K_R \times D \quad (1)$$

Integrasi persamaan di atas terhadap t_2 dan t_1 , akan membentuk persamaan K_R (Lee and Lin, 2007):

$$D_2 = D_1 \times e^{-K_R \cdot t} \Rightarrow K_R = -\frac{\ln \frac{D_2}{D_1}}{\Delta t} \quad (2)$$

Dengan K_R adalah koefisien reaerasi (/hari) dan D = defisit DO (mg/L).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakteristik Sungai Bedadung hilir

Berdasarkan Tabel 2, karakteristik sungai Bedadung ditinjau dari aspek hidraulik menunjukkan kondisi yang berbeda. Semakin ke hilir sungai cenderung lebar, dalam, dan memiliki penampang sungai yang semakin luas. Sedangkan kecepatan aliran cenderung menurun akibat penampang sungai yang cenderung melebar. Kondisi dan penampang melintang Sungai Bedadung di tiga titik pantau disajikan pada Gambar 2.



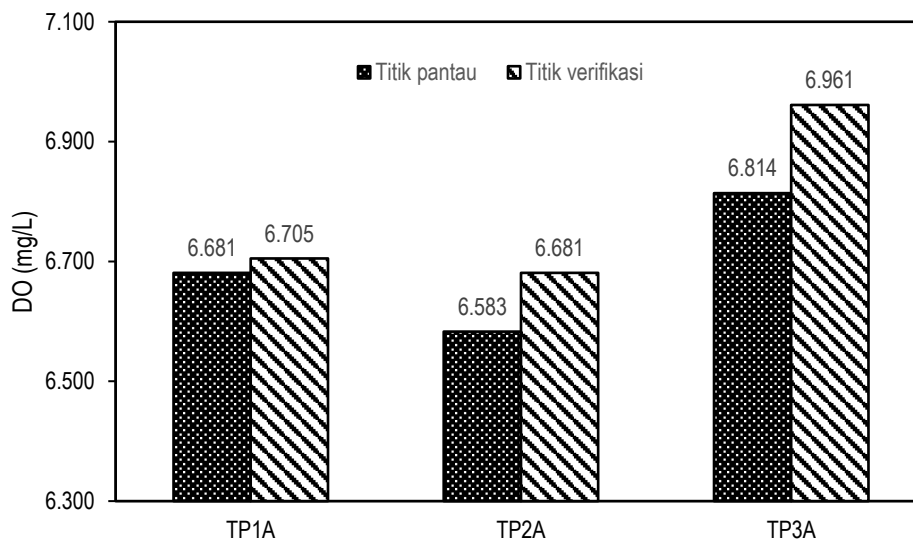
Gambar 2. Kondisi Sungai Bedadung hilir di tiga titik pantau

Tabel 2. Karakteristik Sungai Bedadung Hilir

TP	Titik pantau						Titik verifikasi		
	Lebar (L, m)	Kedalaman (H, m)	Kecepatan aliran (v, m/s)	Luas penampang (L, m ²)	Temperatur (T, °C)	Oksigen terlarut (DO, mg/L)	TV	Temperatur (T, °C)	Oksigen terlarut (DO, mg/L)
TP1A	8,00	0,43	0,82	3,42	28	6,681	TV1B	29	6,705
TP2A	12,70	0,44	0,54	5,55	29	6,583	TV2B	29	6,681
TP3A	14,50	1,08	0,54	15,68	28	6,814	TV3B	29	6,961

Kondisi temperatur Sungai Bedadung hilir berada pada nilai 28 – 29 °C. Temperatur air Sungai Bedadung masih berada pada temperature optimal bagi kehidupan biota perairan. Kisaran temperatur air optimal bagi kehidupan fitoplankton 20 – 30 °C (Effendi, 2003) dan ikan 28 – 32 °C (Kordi and Tancung, 2007) di perairan tropis.

DO Sungai Bedadung menunjukkan berada pada kisaran nilai 6.583 – 6.961 mg/L dan berada di atas batas minimum baku mutu air yang ditetapkan dari kriteria mutu air sungai berdasarkan kelas (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001), yaitu 6 mg/L untuk kelas 1. Oksigen terlarut sangat berperan penting bagi respirasi ikan dan metabolisme mikroorganisme perairan (Suriadarma, 2011). Sebaran oksigen terlarut sangat bergantung pada temperatur air. Semakin tinggi temperatur suatu perairan, maka kelarutan oksigen akan semakin berkurang (Dharmawan dkk., 2020). Nilai oksigen terlarut air selain disebabkan oleh kelarutan oksigen akibat temperatur, juga disebabkan oleh terjadinya turbulensi akibat pergerakan air (Harsono, 2010). Adanya penambahan DO air sungai di tiga titik pantau akibat turbulensi dapat dilihat dari hasil pengukuran DO pada TP dan TV (Gambar 1).



Gambar 3. Peningkatan konsentrasi DO aktual titik pantau dan titik verifikasi

3.2 Koefisien Reaerasi Sungai Bedadung Hilir

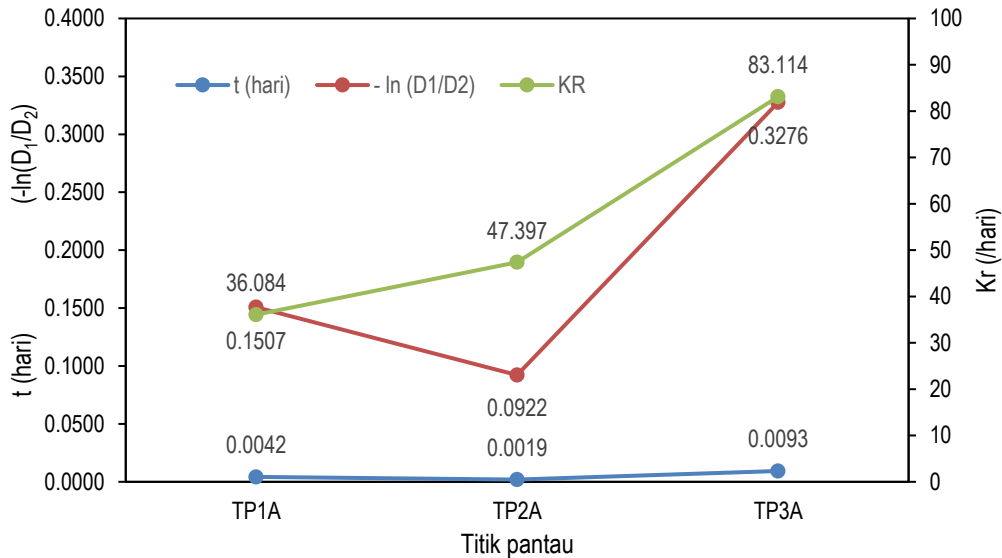
DO di sungai menurun akibat masuknya pencemar dan dapat mencapai kondisi *zero DO level*. Namun ketika air sungai kontak dengan atmosfer, maka terjadi penambahan oksigen dari atmosfer ke badan air hingga tercapai tingkat saturasi (Haider dkk., 2013a). Angka konstanta kecepatan reaerasi (K_R) menunjukkan besarnya laju penyerapan oksigen atmosfer ke dalam perairan (Astono, 2010). Persamaan 2.2 digunakan untuk menentukan nilai K_R yang diperoleh dari perubahan defisit DO sungai yang erat kaitannya dengan proses transfer masa oksigen dari atmosfer ke badan air sungai untuk mencapai kondisi saturasinya.

Koefisien reaerasi menggunakan pendekatan perubahan defisit DO menunjukkan kecenderungan naik di tiga titik pantau (Tabel 3 dan Gambar 2). Pada pendekatan ini, defisit DO dan waktu tempuh pengaliran sangat menentukan besar K_R . Semakin besar nilai $-\ln\left(\frac{D_1}{D_2}\right)$, karena berbanding lurus dengan K_R , maka nilai koefisien reaerasi semakin besar. Defisit oksigen menunjukkan kecenderungan adanya pertukaran oksigen dari atmosfer ke badan air. Semakin besar selisih DO aktual perairan terhadap DO saturasi, semakin besar nilai defisit oksigen. Besarnya nilai defisit oksigen maka semakin besar pula pertukaran oksigen dari atmosfer ke badan air. Sedangkan faktor waktu tempuh aliran menunjukkan bahwa semakin lama waktu pengaliran air sungai semakin banyak oksigen atmosfer yang terdifusi ke badan air. Rata-rata koefisien reaerasi adalah 55,532 /hari.

Tabel 3. Penentuan K_R Sungai Bedadung Hilir dengan pendekatan perubahan defisit DO

TP	Titik pantau			t^* (hari)	Titik verifikasi			$-\ln\left(\frac{D_1}{D_2}\right)$	K_R (/hari)
	DOs (mg/L)	DO (mg/L)	D (mg/L)		TV	DOs (mg/L)	DO (mg/L)		
TP1A	7,827	6,681	1,146	0,00418	TV1B	7,691	6,705	0,986	36,084
TP2A	7,691	6,583	1,108	0,00194	TV2B	7,691	6,681	1,010	47,397
TP3A	7,827	6,814	1,013	0,00934	TV3B	7,691	6,961	0,730	83,114
Rata-rata									55,532

Keterangan: t^* = waktu tempuh aliran air sungai dari TP ke TV



Gambar 4. Interpretasi K_R Sungai Bedadung

Nilai K_R pada pendekatan perubahan defisit oksigen cenderung lebih besar dari pada K_R menggunakan persamaan empiris O'Connor dan Dobbins (1958). Pada penelitian penentuan K_R Sungai Bedadung yang menggunakan persamaan O'Connor dan Dobbins, nilai K_R berada pada nilai 6,941 /hari (Wahyuningsih dkk., 2019b) dan 3,245 /hari (Wahyuningsih dkk., 2019a). Pada persamaan O'Connor dan Dobbins, penentuan K_R dipengaruhi kondisi *in-situ* profil hidraulik sungai. Semakin deras dan dangkal suatu perairan semakin besar angka koefisien reaerasi (K_R) dan sebaliknya (Astono, 2010). Sedangkan pada pendekatan perubahan defisit oksigen, konsentrasi DO aktual terhadap DO saturasi dan waktu tempuh pengaliran air sungai menentukan besar nilai K_R .

Kondisi DO air sungai selalu berubah-ubah sering dengan perubahan fisika, kimia dan biologis di perairan. Pengurangan DO air terjadi akibat penggunaan oksigen untuk mengoksidasi pencemar organik yang terkandung pada air sungai (Dharmawan dkk., 2020). Sedangkan penambahan oksigen ke badan air dapat terjadi melalui fotosintesis biota akuatik dan transfer oksigen dari muka air, dan konsentrasi DO air kemudian dikendalikan oleh temperatur air (Radwan dkk., 2003). Proses pengurangan DO air dinyatakan dengan deoksigenasi dan proses penambahan DO dinyatakan reaerasi. Untuk dapat dikatakan baik, suatu perairan sungai harus mampu menyeimbangkan pasokan oksigen perairan secara alami (*natural purification*) (Dharmawan dkk., 2020). Pada kasus ini, proses reaerasi harus terjadi lebih intensif dibandingkan dengan proses deoksigenasi. Hal tersebut kemudian berujung pada beberapa investigasi untuk mengetahui koefisien deoksigenasi (K_D) dan reaerasi (K_R) pada sungai.

Pada Sungai Bedadung yang menjadi wilayah kajian, besar angka koefisien reaerasi lebih besar dibandingkan dengan koefisien deoksigenasi. Menurut Dharmawan dkk., (2020) yang melakukan investigasi K_D di Sungai Bedadung hilir menunjukkan nilai $K_D = 1,556$ dan $1,126$ /hari (Sungai Bedadung Kecamatan Balung). Tentunya nilai K_D tersebut berada dibawah nilai K_R hasil penelitian ini dan penelitian menggunakan persamaan O'Connor & Dobbins (1958) di Sungai Bedadung segmen Desa

Curahmalang dan Desa Gumelar, Jember. Hal tersebut menunjukkan bahwa proses penambahan oksigen terlarut pada badan air Sungai Bedadung masih tinggi dibandingkan proses pengurangan oksigen. Oksigen terlarut yang terkandung di air Sungai Bedadung bagian hilir dapat digunakan untuk menghilangkan bahan pencemar di perairan dan dapat menciptakan lingkungan yang baik untuk kehidupan biota perairan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis data penelitian diperoleh rata-rata K_R Sungai Bedadung bagian hilir menggunakan pendekatan perubahan defisit oksigen menunjukkan nilai 55.532 /hari. Pada pendekatan ini, nilai K_R ditentukan dari besar defisit oksigen dan waktu tempuh pengaliran air sungai. Besarnya nilai K_R menunjukkan baiknya suatu perairan karena mampu menyuplai oksigen disaat sungai menerima bahan pencemar yang menjadikan DO turun. Kajian K_R pada Sungai dapat dijadikan bahan pertimbangan pengelolaan sumberdaya perairan untuk mengetahui pemulihan alami Sungai akibat pencemar organik. Penelitian lanjutan akan lebih baik jika dibandingkan dengan mengetahui besar kemampuan sungai untuk mendekomposisi bahan organik secara laboratorium/*observational* dengan inkubasi BOD selama 20 hari. Penelitian serupa menggunakan metode ini akan lebih baik jika memiliki interval jarak yang relative tidak jauh untuk mengetahui tren perubahan oksigen terlarut. DO merupakan parameter yang sangat sensitif terhadap perubahan temperatur dan kondisi hidraulik sungai, ketelitian analisa DO menggunakan menjadi penentu untuk mengetahui perubahan DO.

Daftar Pustaka

- Astono, W. 2010. Penetapan Nilai Konstanta Dekomposisi Organik (KD) dan Nilai Konstanta Reaerasi (KA) pada Sungai Ciliwung Hulu – Hilir. *Jurnal Ekosains*, 2 (1), 40–45.
- BSNI. 2008a. SNI 6989-14: Cara Uji Oksigen Terlarut dengan Yodometri (Modifikasi Azida). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- BSNI. 2008b. SNI 6989-23: Cara Uji Suhu dengan Termometer. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- BSNI. 2008c. SNI 6989-57. Metode Pengambilan Contoh Air Permukaan. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- BSNI. 2015. SNI 8066. Tata Cara Pengukuran Debit Aliran Sungai dan Saluran Terbuka Menggunakan Alat Ukur Arus dan Pelampung. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Churchill, M. A., Elmore, H. L. & Buckingham, R. A. 1962. Prediction of Stream Reaeration Rates. *Journal of the Sanitary Engineering Division Proceeding of ASCE, SA4:1, Proceeding Paper 3199*.
- Dharmawan, A., Wahyuningsih, S. & Novita, E. 2020. Laju Deoksigenasi Sungai Bedadung Hilir Akibat Pencemar Organik, *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 21 (1), 109–117.
- Effendi, H. (2003) Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Yogyakarta: Kanisius.
- Gualtieri, C., Gualtieri, P. & Doria, G. P. 2002. Dimensional Analysis of Reaeration Rate in Streams. *Journal of Environmental Engineering*, 128 (1), 12–18.
- Haider, H., Ali, W., & Haydar, S. 2013a. A Review of Dissolved Oxygen and Biochemical Oxygen Demand Models for Large Rivers. *Pakistan Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12, 127–142.
- Haider, H., Ali, W., & Haydar, S. 2013b. Evaluation of various relationships of reaeration rate coefficient for modeling dissolved oxygen in a river with extreme flow variations in Pakistan. *Hydrological Processes*, 27, 3949–3963.
- Harsono, E. 2010. Evaluasi Kemampuan Pulih Diri Oksigen Terlarut Air Sungai Citarum Hulu. *Limnotek*, 17 (1), 17–36.
- Kordi, M. G. H. & Tancung, A. B. 2007. Pengelolaan Kualitas Air dalam Budidaya Perairan. Jakarta: Rineka Cipta.
- Lee, C. C. & Lin, S. D. 2007. *Handbook of Environmental Engineering Calculations*, 2nd edition. New York, US: McGraw Hill Companies, Inc.

- O'Connor, D. J. & Dobbins, W. E. 1958. Mechanism of reaeration in natural streams. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 123, 641–667.
- Owens, M., Edwards, R. & Gibbs, J. 1964. Some Reaeration Studies in Streams. *International Journal of Air and Water Pollution*, 8, 469–486.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001. Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Lembaran Republik Indonesia Nomor 4161. Jakarta.
- Pradana, H. A. Novita, E., Wahyuningsih, S., & Pamungkas, R. 2019. Analysis of Deoxygenation and Reoxygenation Rate in the Indonesia River (a case study: Bedadung River East Java). *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 243, 1–9.
- Radwan, M., Willems P., El-Sadek, A., & Berlamont, J. 2003. Modelling of Dissolved Oxygen & Biochemical Oxygen Demand in River Water using a Detailed and a Simplified Model. *International Journal of River Basin Management*, 1 (2), 97–103.
- Rahayu, S., Widodo, R. H., van Noordwijk, M., Suryadi, I., & Verbist, B. 2009. Monitoring Air Di Daerah Aliran Sungai, p. 104. [www. worldagroforestry.esdm.go.id/library/sijh/PP801KualitasAir.pdf](http://www.worldagroforestry.esdm.go.id/library/sijh/PP801KualitasAir.pdf). [Accessed: 10-Jan-2019].
- Suriadarma, A. 2011. Dampak Beberapa Parameter Faktor Fisik Kimia terhadap Kualitas Lingkungan Perairan Wilayah Pesisir Karawang Jawa Barat. *Riset Geologi dan Pertambangan*, 21(2), 21–36.
- Thomann, V. R. and Mueller, A. J. 1987. *Principals of Surface Water Quality Modeling*. New York: Harper & Row.
- Wahyuningsih, S., Novita, E. & Imami, R. F. 2019. Laju Deoksigenasi dan Laju Reaerasi Sungai Bedadung Segmen Desa Gumelar, Kabupaten Jember. *Agritech*, 39(2), 87–96.
- Wahyuningsih, S., Novita, E. & Ningtias, R. 2019. Laju Deoksigenasi dan Laju Reaerasi Sungai Bedadung Segmen Desa Rowotamtu Kecamatan Rambipuji Kabupaten Jember', *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 7 (1), 1–7.