

PENILAIAN PERUBAHAN KUALITAS AIR SUNGAI : APLIKASI DI SUNGAI MARTAPURA, INDONESIA

River Water Quality Change Assessment: Application in The Martapura River, Indonesia

Tien Zubaidah

Poltekkes Banjarmasin, Jl.H.M.Cokrokusumo No.1 A Banjarbaru, Indonesia
Corresponding author: tien@poltekkes-banjarmasin.ac.id/tien.zubaidah@gmail.com)

Abstract: The river in the city of Banjarmasin has received the burden of organic and inorganic pollutants from various sources, both point and non-point, which causes a decrease in water quality. This study aims to build an early warning model for changes in river water quality, using dissolved oxygen as an indicator based on the dynamic system method. Dissolved oxygen is an essential element to show changes in river water quality, as indicated by fluctuations in dissolved oxygen values. The dynamic model developed involves seven sub-models. The sub-models including sub-models 1) population 2) resident/settler waste in the research zone, 3) restaurant waste, 4) hotel waste, 5) market waste, 6) other public place waste (education and health facilities) and 7) the burden of pollutants that interact to form a system. The most effective strategy scenario simulation to be used as a river water's quality change assessment is the 3rd strategy scenario, including (1) cross-sectoral cooperation (2) law enforcement (3) development of WWTP, and (4) community participation. The application of this scenario will provide a decrease that has an impact on increasing DO, with an 80 percent decrease in BOD pollutant load and 73 percent of COD. These conditions will cause the quality of water bodies to be following its designation as First Class water bodies.

Keywords: Dissolved oxygen, change assessment, river water quality, domestic waste

1. PENDAHULUAN

Perairan dikatakan tercemar apabila beban pencemar lebih besar dari kapasitas asimilasi perairan yang diindikasikan oleh tingginya konsentrasi bahan pencemar dibandingkan ambang batas baku mutu yang berlaku. Sungai di Kota Banjarmasin menerima beban pencemaran organik dan anorganik dari berbagai sumber pencemar baik *point sources* maupun *non point sources* yang menyebabkan penurunan kualitas air.

Metode untuk memantau dan memprediksi keamanan kualitas air telah menjadi perhatian yang serius pada bidang perlindungan dan pengelolaan sumber daya air (Armstrong, 2001; Franses, 2016; Neary & Baillie, 2016; Scatena, 2000; Zeng & Wu, 2014). He, *et al* (2011) mengembangkan sebuah sistem informasi geografis (GIS) terpadu berdasarkan informasi pengelolaan

pencemaran air sistem yang bisa memprediksi proses transfer dan difusi polutan. Sedangkan pemantauan untuk jenis polutan tertentu dan peringatan bahaya terkait pasokan air telah dilakukan oleh Arheimer, *et al* (2011), Chae & Kim (2012), Liu *et al* (1996) Sorensen, (2000), Storey, *et al* (2011) dan Verlaan, *et al* (2005). Penelitian-penelitian tersebut, cenderung fokus pada metode evaluasi, terutama mencakup analisis komponen utama, multi-tujuan analisa keputusan dan lain-lain.

Di antara metode yang digunakan, metode matematika adalah yang paling banyak digunakan karena lebih mudah untuk membangun model dari pada metode sistem dinamik. Namun kekurangannya yaitu sulit untuk mengungkapkan hubungan antara kualitas air dengan ekonomi, sosial dan lingkungan ekologis sehingga tidak layak untuk penelitian jangka panjang. Sistem dinamik merupakan metode penelitian



kualitatif dan kuantitatif yang mencakup sistem analisis dan simulasi terintegrasi. Sistem dinamik mampu mensimulasikan struktur berbagai sistem yang kompleks secara menyeluruh dan dapat menganalisis hubungan internal sistem (Wang, 1995).

Aspek sistem yang dipertimbangkan dalam penelitian ini yaitu sumber pencemar berasal dari kegiatan rumah tangga, aktifitas pasar, hotel, rumah makan, tempat-tempat umum lainnya dalam memproduksi limbah domestik. Kegiatan tersebut menghasilkan limbah yang mengandung polutan dan mempengaruhi kualitas air sungai di Kota Banjarmasin. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan penilaian perubahan kualitas air sungai dengan memahami variabel sistem yang berpengaruh terhadap kualitas air sungai melalui pendekatan metode sistem dinamik.

2. METODE

Sungai sebagai obyek penelitian merupakan air Sungai Martapura, Provinsi Kalsel, Indonesia. Lokasi penelitian dibagi menjadi 2 (dua) titik pengamatan.

Buangan limbah yang diteliti yaitu bersumber dari limbah cair domestik, sementara untuk limbah yang bersumber dari industri, pertanian, peternakan dan perikanan tidak dimasukkan ke dalam perhitungan karena minimnya data.

Fokus utama dari sistem dinamis adalah untuk memahami proses, mengubah informasi, dan mempelajari interaksi yang terjadi antar variabel dalam membentuk sebuah struktur model. Dalam penelitian ini, aplikasi STELLA versi 9.1.3. digunakan untuk mensimulasikan proses.

Sub model kependudukan

Penilaian perubahan mutu air sungai sangat dipengaruhi oleh faktor dinamika populasi. Jumlah penduduk akan mengalami pertambahan apabila terjadi peningkatan jumlah kelahiran atau terjadi penurunan tingkat kematian. Dalam model ini, peningkatan jumlah populasi berdampak pada peningkatan populasi pembuang limbah domestik.

Sub model limbah pemukiman

Sub model ini melihat peningkatan jumlah populasi pemukiman di sepanjang bantaran sungai yang berdampak pada peningkatan beban pencemaran akibat buangan limbah domestik. Besarnya potensi beban pencemar dari sumber domestik dapat diperkirakan dengan cara mengalikan emisi BOD dan COD dengan populasi penduduk.

Sub model limbah rumah makan

Sub model ini menggambarkan aliran beban pencemaran BOD dan COD yang masuk ke titik pengamatan melalui berbagai aliran sungai. Besarnya potensi beban pencemar dari sumber rumah makan dapat diperkirakan dengan cara mengalikan emisi BOD dan COD dengan jumlah pembeli.

Sub model limbah hotel

Sub model ini menggambarkan aliran beban pencemaran BOD dan COD yang berasal dari kegiatan hotel. Besarnya potensi beban pencemar dari sumber hotel dapat diperkirakan dengan cara mengalikan emisi BOD dan COD dengan jumlah penduduk.

Sub model limbah pasar

Sub model ini menggambarkan aliran beban pencemaran BOD dan COD yang besarnya potensi beban pencemar diperkirakan dengan cara mengalikan emisi BOD dan COD dengan jumlah pengunjung.

Sub model limbah tempat umum lainnya

Sub model ini menggambarkan aliran beban pencemaran BOD dan COD yang masuk ke aliran sungai. Besarnya potensi beban pencemar diperkirakan dengan cara mengalikan emisi BOD dan COD dengan jumlah pengunjung.

Sub model beban pencemar

Sub model ini menggambarkan aliran beban limbah BOD dan COD yang masuk ke Sungai Martapura melalui berbagai titik sampling sungai. Sub model ini dibangun berdasarkan jumlah populasi sumber pencemaran.

Penilaian perubahan kualitas air sungai

Penilaian perubahan kualitas air sungai ini bersumber dari beban pencemaran limbah domestik yang berasal dari pemukiman, hotel, pasar, rumah makan dan tempat umum lainnya dengan parameter



BOD dan COD. Meningkatnya BOD dan COD dapat mengurangi oksigen terlarut (DO). Perubahan nilai DO dalam model ini menunjukkan perubahan kondisi kualitas air sungai.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi model menunjukkan bahwa jumlah penduduk di sekitar perairan sungai terus meningkat dari 6182 jiwa pada awal simulasi menjadi 12726 jiwa pada akhir tahun simulasi. Pola peningkatan jumlah penduduk diikuti pula oleh jumlah limbah yang dihasilkan.

Simulasi Model Sistem Dinamik Beban Limbah Domestik

Simulasi sistem dinamik dengan aplikasi Stella versi 9.1.3 dalam disertasi ini menggunakan *running* tahunan untuk mempresentasikan beban limbah selama periode simulasi 4 (empat) tahun. Berikut ini disajikan hasil simulasi beban pencemaran limbah BOD dan COD dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Hasil Simulasi Beban Limbah BOD (dalam ton/tahun)

Tahun	BL BOD_1	BL BOD_2
2019	623,74	219,17
2020	891,67	225,17
2021	655,05	231,57
2022	672,22	238,45

Hasil simulasi beban limbah untuk parameter-parameter yang dijadikan acuan seperti yang ditampilkan pada Tabel 1, diperoleh hasil akhir yang berbeda. Nilai parameter BOD yang diperoleh dari hasil simulasi, paling tinggi terdapat pada aliran titik 1 pada awal simulasi sebesar 623,74 ton/tahun menjadi 672,22 ton/tahun diakhir periode.

Tabel 2 Hasil Simulasi Beban Limbah COD (dalam ton/tahun)

Tahun	BL COD_1	BL COD_2
2019	870,77	618,07
2020	891,67	634,38
2021	813,73	651,42

2022	937,16	669,28
------	--------	--------

Hasil simulasi untuk beban limbah COD seperti pada Tabel 2 di atas juga memperlihatkan bahwa beban terbesar limbah COD tertinggi ada di aliran titik 1. Aliran beban limbah pada titik 1 pada awal simulasi 870,77 ton/tahun menjadi 937,16 ton/tahun diakhir periode simulasi.

Penyusunan Skenario Pengendalian Pencemaran Air Sungai

Skenario pengendalian pencemaran air Sungai Martapura disusun berdasarkan pada hasil analisis prospektif. Hasil analisis prospektif didapatkan empat faktor yang mempunyai pengaruh yang kuat terhadap kinerja sistem pengendalian pencemaran air sungai di Kota Banjarmasin yaitu pengadaan IPAL, partisipasi masyarakat, penegakan hukum lingkungan dan kerjasama lintas sektoral. Selanjutnya untuk mengkaitkan ke model ditetapkan 3 (tiga) skenario pengendalian pencemaran air Sungai Martapura, yaitu (1) skenario eksisting, (2) skenario moderat, dan (3) skenario optimis.

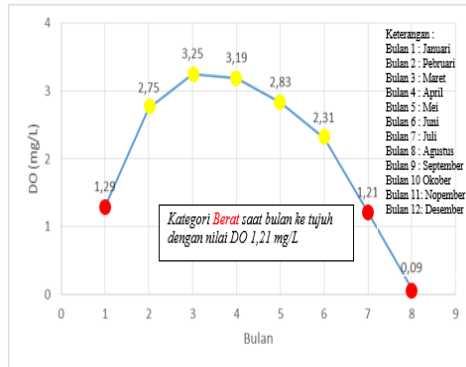
Simulasi skenario dalam penelitian ini dilakukan di semua titik pengamatan terhadap 2 (dua) parameter yaitu BOD dan COD. Gambar yang disajikan berupa indikator dengan perbedaan warna untuk menunjukkan peringatan dini perubahan mutu air sungai. Warna indikator menggambarkan kondisi DO di setiap titik pengamatan. Untuk warna hijau menggambarkan bahwa air sungai dalam kondisi tidak tercemar/tercemar ringan. Warna kuning mengindikasikan bahwa air sungai dalam kondisi tercemar sedang dan warna merah mengindikasikan bahwa air sungai dalam kondisi tercemar berat.

Simulasi Kondisi Eksisting

Penurunan kualitas air dalam riset ini ditunjukkan pada nilai DO air sungai. Gambar 1 menjelaskan bahwa nilai DO pada bulan pertama berada pada indikator merah (tercemar berat), ini disebabkan karena masuknya aliran limbah yang masuk pada titik ini. Perubahan nilai kualitas air sungai ditunjukkan oleh penurunan nilai DO menuju kriteria tercemar berat terjadi kembali pada

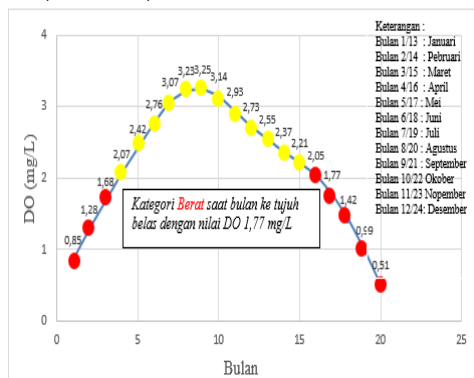


bulan ke tujuh (Juli 2019) hingga akhir periode, dengan kisaran nilai BOD antara 617,64 – 690,69 ton dan kisaran nilai COD antara 862,35 – 962,25 ton.



Gambar 1. Simulasi Nilai DO pada Titik 1

Gambar 2 menjelaskan bahwa hasil simulasi nilai DO pada bulan pertama sampai bulan ketiga berada pada indikator merah (tercemar berat), ini disebabkan karena adanya aliran buangan limbah di titik tersebut. Perubahan nilai kualitas air sungai ditunjukkan oleh penurunan nilai DO menuju kriteria tercemar berat terjadi kembali pada bulan ke tujuh belas (Mei 2020 memasuki musim kemarau) hingga ke akhir periode, dengan kisaran nilai BOD antara 221,63 – 245,92 ton dan kisaran nilai COD antara 624,79 – 688,11 ton.



Gambar 2. Simulasi Nilai DO pada Titik 2

Simulasi Kondisi Moderat

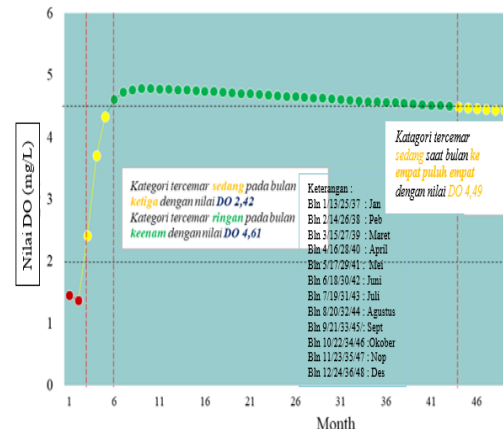
Gambar 3 menjelaskan bahwa hasil simulasi kondisi moderat terjadi perubahan warna indikator yaitu pada titik 1 dengan indikator hijau. Perubahan kualitas air ini menunjukkan bahwa beban pencemar BOD dan COD berkesempatan untuk mengalami

proses purifikasi terhadap beban pencemaran.

Kondisi ini mengindikasikan bahwa skenario pengendalian pencemaran yang diterapkan mampu menurunkan beban pencemar pada titik pengamatan 1 sehingga dapat menaikkan nilai DO sungai. Sedangkan untuk titik 2, upaya pengendalian pencemaran masih belum berjalan efektif sehingga belum mampu menekan beban pencemar (indikator warna kuning).

Simulasi Kondisi Moderat

Gambar 3 menjelaskan bahwa hasil simulasi nilai DO di titik pengamatan 2 pada simulasi kondisi moderat menunjukkan perubahan kualitas air sungai oleh nilai DO pada awal simulasi sampai bulan ke dua berada pada indikator merah (tercemar berat), pada bulan ke tiga hingga bulan ke lima berada di indikator warna kuning (tercemar sedang) hingga akhir periode simulasi.

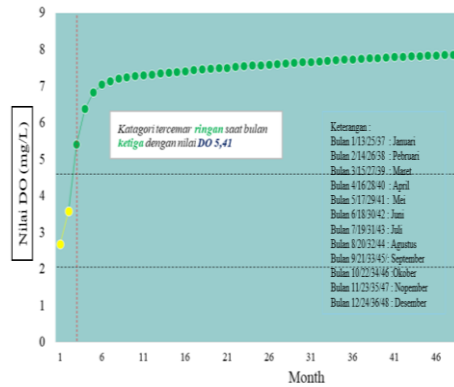


Gambar 3. Simulasi Nilai DO pada Titik 2

Simulasi Kondisi Optimis

Gambar 4 menjelaskan bahwa hasil simulasi kondisi optimis terjadi perubahan nilai DO pada titik 2 dengan warna indikator hijau (tidak tercemar). Perubahan nilai kualitas air ini menunjukkan bahwa beban pencemar BOD dan COD berkesempatan untuk mengalami proses purifikasi terhadap beban pencemaran.





Gambar 4. Simulasi Nilai DO pada Titik 2

Secara alamiah sungai memiliki kemampuan untuk memulihkan diri dalam batas-batas tertentu. Kemampuan pemulihan diri setiap sungai tidak sama yang bergantung kepada karakteristik masing-masing sungai, seperti derasnya aliran, besarnya debit dan kadar limbah awal yang terkandung didalam air sungai.

Oksigen terlarut (DO) memegang peranan penting sebagai indikator kualitas perairan, karena oksigen terlarut berperan dalam proses oksidasi dan reduksi bahan organik dan anorganik. Selain itu, peranan oksigen terlarut sangat penting untuk membantu mengurangi beban pencemaran pada perairan secara alami (*selfpurifikasi* sungai) maupun secara perlakuan aerobik yang ditujukan untuk memurnikan air buangan industri dan rumah tangga (Salmin, 2005).

4. KESIMPULAN

Penilaian perubahan kualitas air sungai ini dibangun dengan melibatkan tujuh sub model, yaitu: 1) sub model kependudukan 2) sub model limbah penduduk/pemukiman yang bertempat tinggal di zona penelitian, 3) sub model limbah rumah makan, 4) sub model limbah hotel, 5) sub model limbah pasar, 6) sub model limbah tempat umum lainnya dan 7) sub model beban pencemar yang berinteraksi membentuk sebuah sistem.

Simulasi skenario strategi yang paling efektif digunakan menjadi acuan dalam peringatan dini perubahan kualitas air sungai adalah skenario strategi ke 2 (dua), yaitu pemaksimalan aspek (1) kerja sama lintas sektoral (2) penegakan hukum (3) pembangunan IPAL, dan (4) partisipasi masyarakat. Hasil simulasi dari penerapan

strategi tersebut menyebabkan peningkatan nilai oksigen terlarut di Sungai Martapura sehingga kualitas air sungai sesuai dengan baku mutu peruntukannya sebagai air kelas I (satu).

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Riset penulis sebagian dibiayai oleh Kementerian Kesehatan RI. Ucapan terima kasih dan penghargaan penulis sampaikan kepada Prof.Dr.Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc., Dr.Ir. Agus Slamet, Dipl.SE., M.Sc., Dinas Lingkungan Hidup Kota Banjarmasin dan semua pihak yang telah membantu riset ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Armstrong, J. S. (2001). Evaluating forecasting methods. In *Principles of forecasting* (pp. 443–472). Springer.
- Arheimer, B., Lindström, G., & Olsson, J. (2011). A systematic review of sensitivities in the Swedish flood-forecasting system. *Atmospheric Research*, 100(2), 275–284. doi:10.1016/j.atmosres.2010.09.013
- Franses, P. H. (2016). A note on the Mean Absolute Scaled Error. *International Journal of Forecasting*, 32(1), 20–22. doi:10.1016/j.ijforecast.2015.03.008
- Chae, B.-G., & Kim, M.-I. (2012). Suggestion of a method for landslide early warning using the change in the volumetric water content gradient due to rainfall infiltration. *Environmental Earth Sciences*, 66(7), 1973–1986. doi:10.1007/s12665-011-1423-z
- He, Q., Peng, S., Zhai, J., & Xiao, H. (2011). Development and application of a water pollution emergency response system for the Three Gorges Reservoir in the Yangtze River, China. *Journal of Environmental Sciences*, 23(4), 595–600. doi:10.1016/S1001-0742(10)60424-X



- Liu, S., Quenemoen, L. E., Malilay, J., Noji, E., Sinks, T., & Mendlein, J. (1996). Assessment of a severe-weather warning system and disaster preparedness, Calhoun County, Alabama, 1994. *American Journal of Public Health*, 86(1), 87–89. doi:10.2105/AJPH.86.1.87.
- Verlaan, M., Zijderveld, A., de Vries, H., & Kroos, J. (2005). Operational storm surge forecasting in the Netherlands: developments in the last decade. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 363(1831), 1441–1453.
- Neary, D. G., & Baillie, B. R. (2016). Cumulative Effects Analysis of the Water Quality Risk of Herbicides Used for Site Preparation in the Central North Island, New Zealand. *Water*, 8(12), 573. doi:10.3390/w8120573
- Wang, QF (1995a) Kemajuan baru dalam teori dan metodologi dinamika sistem. *Teori Teknik Sistem Aplikasi Metodologi* 4 (2): 6-12
- Scatena, F. N. (2000). Drinking Water Quality. In *Drinking Water from Forests and Grasslands: A Synthesis of the Scientific Literatur; General Technical Report SRS-39; Chapter 2* (pp. 7–25). Asheville, NC, USA: USDA Forest Service Southern Research Station. Retrieved from [https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/1866](https://www.fs.usda.gov/treearch/pub/s/1866)
- Zeng, H., & Wu, J. (2014). Tracing the Nitrate Sources of the Yili River in the Taihu Lake Watershed: A Dual Isotope Approach. *Water*, 7(1), 188–201. doi:10.3390/w7010188
- Sorensen, J. H. (2000). Hazard Warning Systems: Review of 20 Years of Progress. *Natural Hazards Review*, 1(2), 119–125. doi:10.1061/(ASCE)1527-6988(2000)1:2(119)
- Storey, M. V., van der Gaag, B., & Burns, B. P. (2011). Advances in on-line drinking water quality monitoring and early warning systems. *Water Research*, 45(2), 741–747. doi:10.1016/j.watres.2010.08.049
- Salmin. 2005. *Oksigen Terlarut (DO) dan Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) Sebagai Salah Satu Indikator Untuk Menentukan Kualitas Perairan*. Oseana Volume XXX No. 3, 2005, hlm. 1-6
- Suwari, Etty Riani, Bambang Pramudya, & Ita Djuwita. (2011). Model Dinamik Pengendalian Pencemaran Air Kali Surabaya. *Jurnal Bumi Lestari*, 11(2), 234–248.

