Studi Penentuan Sebaran Kualitas Air dengan Metode DOE-WQI, IP, Oregon-WQI, dan Prati Index di Waduk Sutami

Gayatri Putri Rahayu^{1*}, Rini Wahyu Sayekti¹, Moh. Sholichin¹

¹ Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya
Jl. MT. Haryono No. 167, Malang, 65145, Indonesia

*Korespondensi Email : gayatriputrirahayu27@gmail.com

Abstract: Sutami Reservoir is one of the multipurpose reservoirs used in the supply of water. The main problem that occurs is a decrease in water quality caused by sources of pollution from agricultural waste, domestic waste, and industrial waste from the upstream part of the reservoir. This study aims to determine water quality during dry season using DOE-WQI, Pollution Index, Oregon-WQI, and Prati Index with parameters based on BOD, COD, DO, NH₃-N, TSS, pH, NO₃, and PO₄, as well as to calculate the load capacity of reservoir pollution. The results obtained of water quality status using the DOE-WQI, Pollution Index, and Prati Index method is lightly polluted. Using the Oregon-WQI method, showed different results, that is heavily polluted, it was caused by differences in the use of parameters. The trophic status in the dry season of 2016 is 60%-80% Eutrophic. Total-P levels in upstream, middle, and downstream sections were 89,20 mg/m³, 86,733 mg/m³, and 76,667 mg/m³. The pollution load capacity of Sutami Reservoir in the upstream, middle, and downstream sections, are 12,448 mg/m³, 15,291 mg/m³, and 26,894 mg/m³. By comparing the value of Total-P and the pollution load capacity, it shows that Total-P exceed the limit of reservoir's pollution load capacity.

Keywords: DOE-WQI, oregon-WQI, pollution index, prati index, water quality

Abstrak: Waduk Sutami menjadi salah satu waduk serbaguna yang digunakan dalam penyediaan air baku. Permasalahan utama yang terjadi ialah adanya penurunan kualitas air yang disebabkan oleh sumber pencemaran limbah pertanian, limbah domestik, dan limbah industri di bagian hulu waduk. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kualitas air pada musim kemarau dengan menggunakan metode DOE-WQI, Indeks Pencemaran, Oregon-WQI, dan *Prati Index* berdasarkan parameter BOD, COD, DO, NH₃-N, TSS, pH, NO₃, dan PO₄, serta untuk menghitung daya tampung beban pencemaran waduk. Hasil yang didapatkan dari analisis kualitas air dengan menggunakan metode DOE-WQI, Indeks Pencemaran, dan *Prati Index* adalah tercemar ringan. Pada metode Oregon-WQI

menampilkan hasil yang berbeda yaitu tercemar berat, hal itu disebabkan oleh adanya perbedaan penggunaan parameter. Status trofik di musim kering tahun 2016 mengalami eutrofikasi sebesar 60% - 80% Eutrof. Diketahui kadar Total-P untuk bagian hulu, tengah, dan hilir antara lain 89,20 mg/m³, 86,733 mg/m³, dan 76,667 mg/m³. Besarnya daya tampung beban pencemaran Waduk Sutami pada bagian hulu, tengah, dan hilir yaitu 12,448 mg/m³, 15,291 mg/m³, dan 26,894 mg/m³. Dengan perbandingan kadar Total-P dan nilai daya tampungnya, maka memperlihatkan bahwa kadar Total-P melampaui batas kapasitas tampungan beban pencemaran waduk.

Kata kunci: DOE-WQI, indeks pencemaran, mutu air, oregon-WQI, prati index

1. Pendahuluan

Air merupakan kebutuhan terpenting bagi manusia. Air dapat berasal dari sungai, laut, danau, dan lain sebagainya. Air ialah segala bentuk air yang terdapat di permukaan tanah maupun di bawah tanah tak terkecuali air laut serta air fosil termasuk di dalamnya [1].

Waduk Sutami menjadi salah satu waduk nasional kedua di Indonesia. Letak dari waduk ini yaitu di Desa Karangates, Kecamatan Sumberpucung, Kabupaten Malang. Waduk Sutami memiliki beberapa manfaat antara lain sebagai tempat menampung air baku, mempunyai fungsi pengendalian banjir, untuk menyediakan air irigasi yang mengisi petak-petak sawah, sebagai pariwisata, budidaya perikanan, serta untuk membangkitkan energi listrik [2].

Permasalahan utama yang saat ini terjadi di Waduk Sutami adalah pencemaran air yang menyebabkan kualitas air di waduk menurun. Limbah cair yang masuk ke dalam waduk, mengubah kondisi mutu air waduk. Penyebab utama menurunnya kualitas air ialah adanya kandungan bahan pencemar serta senyawa organik dan anorganik yang kadarnya telah berlebihan dalam waduk. Pada bagian hulu waduk sumber pencemarannya berasal dari limbah pertanian, di bagian hilir waduk justru sumbernya dari limbah industri dan limbah domestik. Masukan beban pencemaran di Waduk Sutami dapat mengakibatkan bertambahnya unsur hara yang terkandung di air sehingga memicu timbulnya eutrofikasi. Saat beban polutan melebihi batas tertentu, maka kualitas air akan semakin menurun serta berdampak pada terganggunya ekosistem air, terutama kehidupan fitoplankton yang berperan sebagai produsen utama di waduk. Berlebihnya jumlah kadar beban pencemar seperti unsur fosfor di air dapat mempengaruhi berkurangnya daya tampung waduk. Sehingga, penentuan besarnya daya tampung beban pencemaran di waduk harus diperhitungkan secara seksama agar kondisi waduk tetap seimbang dan tidak terganggu [3].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan kualitas air pada musim kemarau dengan menggunakan metode DOE-WQI, Indeks Pencemaran, Oregon-WQI, dan Prati Index berdasarkan parameter BOD, COD, DO, NH₃-N, TSS, pH, NO₃, dan PO₄, serta untuk menghitung daya tampung beban pencemaran waduk.

2. Bahan dan Metode

2.1 Bahan

2.1.1 Daerah Studi

Lokasi penelitian ini yaitu di Desa Karangates, Kecamatan Sumberpucung, Kabupaten Malang. Posisi Waduk Sutami di aliran utama Sungai Brantas yang jaraknya ± 14 km dari daerah hilir Waduk Sengguruh, serta berjarak ± 35 km di bagian selatan kota Malang. Waduk Sutami termasuk dalam waduk yang dikelola dan dipantau oleh Perum Jasa Tirta 1.

Terdapat beberapa stasiun monitoring mutu air yang akan digunakan dalam menyelesaikan penelitian ini, antara lain Stasiun Monitoring Waduk Sutami bagian hulu di Kedalaman I (0,3 m) dan Kedalaman II (4 m), Stasiun Monitoring Waduk Sutami pada bagian tengah di Kedalaman I (0,3 m), Kedalaman II (5 m) dan Kedalaman III (10 m), serta Stasiun Monitoring Waduk Sutami pada bagian hilir di Kedalaman I (0,3 m), Kedalaman II (5 m) dan Kedalaman III (10 m). Lokasi Waduk Sutami ditunjukkan pada Gambar 1.

Gambar 1: Peta Lokasi Waduk Sutami

2.1.2 Data Penelitian

Pada penelitian ini membutuhkan data yang telah dikumpulkan dan dilaporkan dari instansi terkait. Data yang diperlukan untuk penelitian ini, yaitu:

1. Data sekunder curah hujan sekitar Waduk Sutami periode 10 tahun terakhir (2010-2020) dari Dinas PU Sumberdaya Air. Data hujan yang dibutuhkan berasal dari

- Stasiun Hujan Kalipare, Geofisika, Sumberpucung, Kepanjen, Ngajum, Karangsuko, dan Gondanglegi.
2. Data primer parameter mutu air bulan Februari 2021 dan data sekunder selama 6 tahun mulai dari tahun 2015-2020 pada musim kemarau didapatkan dari Perum Jasa Tirta 1. Data parameter mutu air yang diperlukan, antara lain:
 - a. Data mutu air BOD, COD, DO, $\text{NH}_3\text{-N}$, TSS, pH, NO_3 , dan PO_4 di Waduk Sutami Hulu Kedalaman I (0,3 m) dan Kedalaman II (4 m).
 - b. Data mutu air BOD, COD, DO, $\text{NH}_3\text{-N}$, TSS, pH, NO_3 , dan PO_4 di Waduk Sutami Tengah Kedalaman I (0,3 m), Kedalaman II (5 m) dan Kedalaman III (10 m).
 - c. Data mutu air BOD, COD, DO, $\text{NH}_3\text{-N}$, TSS, pH, NO_3 , dan PO_4 di Waduk Sutami Hilir Kedalaman I (0,3 m), Kedalaman II (5 m) dan Kedalaman III (10 m).
 3. Data sekunder mutu air parameter Total-P, morfologi, dan hidrologi waduk tahun 2016 di musim kering pada Waduk Sutami Hulu, Tengah, dan Hilir.
 4. Data DEMNAS Kabupaten Malang dan lokasi titik pengambilan sampel air untuk pembuatan peta sebaran Waduk Sutami melalui aplikasi ArcMap 10.8.

2.2 Metode

Metode pada penelitian ini menghitung analisa hidrologi untuk penentuan pembagian musim yang terdiri dari Uji Konsistensi Data (Metode Kurva Massa Ganda), Uji Ketidakhadiran Trend (Metode Mann-Whitney), Uji Stasioner (Uji F dan Uji T), Metode Rerata Aritmatik, dan Klasifikasi *Schmidt and Ferguson*. Pada analisis status mutu airnya menggunakan metode DOE-WQI, Indeks Pencemaran, Oregon-WQI, dan *Prati Index*. Setelah didapatkan status mutu air di Waduk Sutami, akan dibuat pemetaan sebaran karakteristik kualitas air dengan menggunakan metode *Inverse Distance Weighted* (IDW) melalui aplikasi ArcMap 10.8. Untuk mengetahui batasan beban pencemaran yang dapat ditampung oleh Waduk Sutami perlu dihitung terlebih dahulu tingkatan status trofiknya dengan menggunakan parameter Total-P, lalu dihitung besar daya tampungnya beban pencemaran airnya berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.28 Tahun 2009.

2.3 Penentuan Status Mutu Air

Dalam penelitian ini metode analisis status mutu air yang digunakan terdiri dari empat metode, yaitu metode DOE-WQI, Indeks Pencemaran (IP), Oregon-WQI, dan *Prati Index*. Dengan perhitungan analisis tiap-tiap metode, dapat dihitung tingkat ketercemaran air melalui nilai tertentu.

1. Metode DOE-WQI

Metode ini ditemukan oleh Departemen Lingkungan Hidup Malaysia (DOE) sebagai indeks kualitas air [4]. Parameter yang digunakan dalam metode ini antara lain BOD, COD, DO, TSS, Amonia-Nitrogen, dan pH. Rumus dari metode DOE WQI dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$\text{WQI} = (0,22 \times \text{SIDO}) + (0,19 \times \text{SIBOD}) + (0,16 \times \text{SICOD}) + (0,15 \times \text{SIAN}) + (0,16 \times \text{SITSS}) + (0,12 \times \text{SipH}) \quad \text{Pers.1}$$

Keterangan:

WQI = *Water Quality Index*

SI = Subindeks parameter air

2. Metode Indeks Pencemaran

Metode indeks pencemaran merupakan suatu indeks yang dipakai dalam menentukan besarnya tingkat pencemaran sesuai dengan parameter status mutu air yang diijinkan [5]. Parameter yang akan digunakan dalam metode IP yaitu BOD, COD, DO, TSS, pH, NH₃-N, NO₃, dan PO₄. Penentuan indeks pencemaran berdasarkan persamaan berikut.

$$P_{ij} = m \sqrt{\left(P_{Ij}^2 + \left(\frac{C_i}{L_{ij}} \right)^2 \right)} \quad \text{Pers. 2}$$

Keterangan:

m = Faktor penyeimbang
 P_{Ij} = Indeks Pencemaran rata-rata untuk suatu peruntukan
 $(C_i/L_{ij})_M$ = nilai C_i/L_{ij} maksimum

3. Metode Oregon-WQI

Metode Oregon-WQI merupakan suatu metode yang digunakan untuk menganalisis seperangkat variabel kualitas air yang ditetapkan dan menghasilkan skor yang dapat menggambarkan kualitas air secara umum [6]. Pada metode ini akan memakai tujuh parameter yaitu BOD, DO, TSS, pH, NH₃-N, NO₃, dan PO₄. Berikut merupakan rumus persamaan metode Oregon-WQI.

$$OWQI = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{S_i^2}}} \quad \text{Pers. 3}$$

Keterangan:

S_i = Subindeks tiap tiap parameter
 n = Jumlah parameter keseluruhan

4. Metode Prati Index

Metode Indeks Prati merupakan suatu indeks pada air permukaan sesuai sistem klasifikasi kualitas air [7]. Parameter yang akan dihitung dengan metode Prati Index, antara lain BOD, COD, DO, pH, NH₃-N, TSS, dan NO₃. Persamaan dari Indeks Prati dapat dilihat seperti berikut.

$$I = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i \quad \text{Pers. 4}$$

Keterangan:

I = Indeks Prati
 i = Subindeks tiap parameter

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Hidrologi dan Sistem Penentuan Pembagian Musim

3.1.1 Uji Konsistensi Data Curah Hujan

Saat data curah hujan yang tersedia didapatkan dari tiga stasiun hujan maupun lebih, maka metode yang dapat digunakan yaitu metode kurva massa ganda. Metode kurva

massa ganda merupakan suatu metode yang diperlukan dalam pemeriksaan konsistensi data hujan [8]. Hasil perhitungan data dengan Uji Kurva Massa Ganda sebagai berikut:

Tabel 1: Perhitungan Data Curah Hujan Dengan Uji Kurva Massa Ganda

Tahun	Data Curah Hujan Tahunan Setelah Koreksi (mm)						
	Kalipare	Geofisika	Sumber pucung	Kepanjen	Ngajum	Karang suko	Gondang legi
2011	1602.41	1666.80	1555.51	1664.77	1711.14	1581.23	1583.03
2012	2125.56	2118.63	1941.57	2061.30	2147.75	2002.80	2043.04
2013	2570.95	2677.18	2659.86	2763.87	2761.63	2636.81	2537.43
2014	1550.34	1628.89	1683.04	1535.03	1610.19	1545.97	1446.58
2015	1877.69	1900.40	1982.46	1970.46	2027.87	1963.94	1974.40
2016	3125.44	3231.39	3240.36	3323.15	3250.33	3223.78	3323.91
2017	2636.62	2228.93	2359.19	2341.52	2342.40	2281.58	2258.39
2018	1517.40	1549.29	1595.63	1635.10	1610.59	1561.19	1685.28
2019	1662.03	1691.61	1793.88	1710.49	1694.36	1653.74	1662.31
2020	2207.30	2169.05	2237.79	2207.83	2370.96	2136.87	2231.79

Pada Tabel 1 ditampilkan besarnya nilai data curah hujan tahunan setelah dikoreksi dari hasil uji kurva massa ganda pada Stasiun Hujan Kalipare, Geofisika, Sumberpucung, Kepanjen, Ngajum, Karangsono, dan Gondanglegi, selanjutnya akan di uji Mann Whitney.

3.1.2 Uji Ketidakadaan Trend (*Uji Mann-Whitney*)

Uji Mann and Whitney merupakan suatu uji tanda deret berkala yang menunjukkan hasil nilai naik maupun turun serta tertuju pada satu arah membentuk trend. Pada uji ini akan dapat diketahui seragam tidaknya suatu data. Persamaan dari penentuan koefisien korelasi dengan menggunakan uji Mann-Whitney sebagai berikut.

$$U_1 = N_1 \times N_2 + \left(\frac{N_1}{N_2} \right) \times (N_1 + 1) - R_m \quad \text{Pers. 5}$$

$$U_2 = N_1 \times N_2 - U_1 \quad \text{Pers. 6}$$

$$Z = \frac{\frac{U - (N_1 N_2)}{2}}{\left(\frac{1}{12} \{ N_1 N_2 (N_1 + N_2 + 1) \} \right)^{\frac{1}{12}}} \quad \text{Pers. 7}$$

Penentuan hipotesis data berdasarkan pada derajat kepercayaan 5% dan nilai ijin didapatkan dari tabel Zcr [9]. Apabila nilai Zhitung < Zcr maka data diterima, sebaliknya jika Zhitung > Zcr data tersebut ditolak. Contoh perhitungan diambil pada Stasiun Hujan Karangsono, didapatkan hasil -0,73 < 1,96 (Zhitung < Zcr) sehingga data tersebut homogen.

Tabel 2: Hasil Analisis Hidrologi dengan Uji Mann-Whitney

Uji Mann Whitney	Stasiun Hujan						
	Kalipare	Geofisika	Sumber pucung	Kepanjen	Ngajum	Karang Suko	Gondang legi
Rm	31	30	31	31	30	31	32
U ₁	9	10	9	9	10	9	8
U ₂	16	15	16	16	15	16	17
Z _{hitung}	-0.73	-0.52	-0.73	-0.73	-0.52	-0.73	-0.94
Z _{tabel}	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
Hasil	Diterima	Diterima	Diterima	Diterima	Diterima	Diterima	Diterima

Berdasarkan Tabel 2 dihasilkan analisis data untuk uji Mann-Whitney pada derajat kepercayaan 5% data diterima, sehingga data dapat dikatakan telah homogen.

3.1.3 Uji Kestabilan Varian (Uji F)

Uji F digunakan untuk pengujian nilai varian suatu data. Pada Uji F perhitungan didapat dari pembagian data menjadi dua kelompok, kemudian diuji dengan distribusi F.

$$F = \frac{N_1 \cdot S_1^2 (N_2 - 1)}{N_2 \cdot S_2^2 (N_1 - 1)} \quad \text{Pers. 8}$$

Nilai ijin Ftabel yang didasarkan dari derajat kepercayaan 5% secara dua arah dan perhitungan derajat kebebasan $dk_1 = n_1 - 1 = 5 - 1 = 4$ dan $dk_2 = n_2 - 1 = 5 - 1 = 4$, didapatkan $F_{\text{tabel}} = 6,39$. Apabila nilai $F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$ maka hipotesa diterima, sebaliknya jika nilai $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$ hipotesa akan ditolak. Contoh perhitungan dari Stasiun Hujan Karangsuko, didapatkan hasil $0,44 < 6,39$ sehingga data tersebut nilai variannya stabil.

Tabel 3: Hasil Analisis Hidrologi dengan Uji Kestabilan Varian (Uji F)

Uji F	Stasiun Hujan						
	Kalipare	Geofisika	Sumber pucung	Kepanjen	Ngajum	Karangsuko	Gondang legi
$n_1 \cdot S_1^2 (n_2 - 1)$	3510342.78	3656440.96	3654319.16	4583514.94	4123508.29	3869228.61	3684718.10
$n_2 \cdot S_2^2 (n_1 - 1)$	8990306.28	8720355.80	8145171.24	9153904.52	8706704.03	8805772.29	9082074.98
F_{hitung}	0.39	0.42	0.45	0.50	0.47	0.44	0.41
F_{tabel}	6.39	6.39	6.39	6.39	6.39	6.39	6.39
Ket	Diterima	Diterima	Diterima	Diterima	Diterima	Diterima	Diterima

Berdasarkan Tabel 3 disajikan hasil perhitungan uji kestabilan varian yang menunjukkan bila data diterima, sehingga data homogen karena nilai variannya stabil.

3.1.4 Uji Stasioner dengan Uji Kestabilan Nilai Rata-rata

Setelah data yang di uji hasil nilai variannya stabil dapat dilakukan pengujian selanjutnya berupa uji T. Dalam uji T akan di uji kestabilan nilai reratanya, sehingga dapat diketahui data tersebut homogen atau tidak. Persamaan uji kestabilan nilai rerata (Uji-T) sebagai berikut.

$$\sigma = \left(\frac{N_1 \cdot S_1^2 + N_2 \cdot S_2^2}{N_1 + N_2 - 2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{Pers. 9}$$

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sigma \left(\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad \text{Pers. 10}$$

Penentuan nilai ijin tcr dari derajat kepercayaan $\alpha = 0,025$ secara dua arah dan derajat kebebasan $dk = n_1 + n_2 - 2 = 5 + 5 - 2 = 8$ didapatkan $t_{\text{cr}} = 2,31$. Apabila $t_{\text{hitung}} < t_{\text{cr}}$ maka hipotesa akan diterima. Sebaliknya jika nilai $t_{\text{hitung}} > t_{\text{cr}}$ hipotesa pasti ditolak. Contoh perhitungan dari Stasiun Hujan Karangsuko, didapatkan hasil $-0,57 < 2,306$ sehingga data hujan seragam.

Pada Tabel 4 terlihat bahwa dari hasil uji kestabilan nilai rata rata besarnya kurang dari nilai t kritis, sehingga datanya diterima dan dapat disimpulkan data hujannya telah seragam serta nilai reratanya stabil.

Tabel 4: Hasil Analisis Hidrologi dengan Uji Kestabilan Nilai Rata-rata (Uji T)

Uji T	Stasiun Hujan						
	Kalipare	Geofisika	Sumber pucung	Kepanjen	Ngajum	Karang suko	Gondang legi
α	625.02	621.91	607.23	655.21	633.20	629.36	631.63
t	-0.72	-0.45	-0.73	-0.59	-0.50	-0.57	-0.79
T _{hitung}	2.306	2.306	2.306	2.306	2.306	2.306	2.306
T _{tabel}	Diterima	Diterima	Diterima	Diterima	Diterima	Diterima	Diterima

3.1.5 Sistem Penentuan Pembagian Musim

Penentuan pembagian musim kemarau didasarkan pada perhitungan curah hujan rerata daerah dengan menerapkan metode aritmatik. Hasil yang didapatkan dari curah hujan rerata bulanan akan ditentukan menurut klasifikasi Schmidt dan Ferguson yang didasarkan pada jumlah rata-rata bulan kering dan bulan basah, apabila dalam satu bulan jumlah rerata curah hujan melebihi 100 mm/bulan maka termasuk dalam bulan basah, jika jumlah rerata curah hujan lebih kecil dari 100 mm/bulan maka termasuk ke dalam bulan kering [10]. Hasil penentuan pembagian musim di Waduk Sutami sebagai berikut.

Tabel 5: Penentuan Pembagian Musim pada Waduk Sutami

Tahun	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
2011	220.57	180.86	141.71	266.71	121.00	21.00	1.00	0.00	1.00	78.71	259.71	328.29
2012	352.43	287.43	342.71	208.57	153.71	9.71	5.86	0.00	0.86	55.14	175.86	466.00
2013	362.71	405.70	271.14	191.43	286.49	237.06	45.90	0.00	0.00	68.46	256.57	528.26
2014	289.94	151.01	178.86	128.51	63.16	69.67	13.69	0.00	0.00	0.00	194.29	475.34
2015	293.61	329.00	296.33	456.63	120.19	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	143.87	314.50
2016	318.93	443.07	288.34	320.56	236.34	181.77	84.96	60.76	234.61	318.51	449.14	306.23
2017	445.70	243.29	304.89	355.07	47.26	54.53	43.31	1.47	16.11	107.86	420.54	301.77
2018	354.99	307.07	245.34	102.46	27.11	38.39	2.19	0.14	3.01	0.21	231.96	276.56
2019	414.59	290.43	353.20	180.69	33.50	0.29	0.71	0.00	0.00	0.14	70.47	349.64
2020	261.06	208.07	397.16	256.17	193.76	57.94	10.49	32.71	56.90	162.43	319.74	263.20
Rerata	331.45	284.59	281.97	246.68	128.25	67.08	20.81	9.51	31.25	79.15	252.22	360.98
Ket	B	B	B	B	B	K	K	K	K	K	B	B

Keterangan:

B = Bulan Basah

K = Bulan Kering

Jadi, musim kemarau pada tahun 2011 hingga tahun 2020 terjadi selama 5 bulan yaitu bulan Juni sampai bulan Oktober. Penentuan musim ini akan dijadikan dasar analisis pengolahan data kualitas air di musim kemarau.

3.2 Analisis Mutu Air

3.2.1 Uji Mutu Air

Uji keseragaman data merupakan metode statistik yang berfungsi sebagai analisa variansi suatu data yang didapatkan dari beberapa variasi sumber.

Persamaan dari uji keseragaman data dengan menerapkan Uji F sebagai berikut.

$$F = \frac{(n-k) \cdot \sum_{i=1}^k n_i (\bar{X}_i - \bar{X})^2}{(n-k) \cdot \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_j} (\bar{X}_{ij} - \bar{X})^2} \quad \text{Pers. 11}$$

Tabel 6: Perhitungan Uji Keseragaman Data Mutu Air (Uji F) pada Stasiun Monitoring Hulu Kedalaman I (0,3 m) Tahun 2020

Stasiun Monitoring	Parameter	F _{hitung}	F _{tabel}	Kesimpulan
Waduk Sutami Kedalaman I (0,3 m)	BOD	0.097	19.41	Homogen
	COD	3.348	19.41	Homogen
	DO	1.007	19.41	Homogen
	NH ₃ -N	0.465	19.41	Homogen
	TSS	2.630	19.41	Homogen
	pH	2.667	19.41	Homogen
	NO ₃	3.472	19.41	Homogen
	PO ₄	1.399	19.41	Homogen

Pada uji F ini khusus untuk stasiun monitoring Waduk Sutami bagian hulu di kedalaman II (4 m) tidak dihitung tingkat keseragaman datanya karena pada kedalaman tersebut tidak memiliki variansi data yang sama seperti di stasiun monitoring Waduk Sutami bagian tengah dan hilir.

3.2.2 Penentuan Status Mutu Air Tahun 2015-2020 di Musim Kemarau

Berikut merupakan prosentase tingkat ketercemaran mutu air yang didapatkan dari hasil analisis penentuan status mutu air dengan menggunakan metode indeks kualitas air pada tiap stasiun di musim kemarau tahun 2015-2020.

Tabel 7: Rekapitulasi Status Cemar dengan Menggunakan Metode Indeks Kualitas Air

Stasiun Monitoring	DOE-WQI		Indeks Pencemaran		Oregon-WQI		Prati Index	
	%	Status	%	Status	%	Status	%	Status
Waduk Sutami								
St. Monitoring Hulu Kedalaman I (0,3 m)	100%	TR	90%	TR	83.33%	TB	100%	TR
St. Monitoring Hulu Kedalaman II (4 m)	96.67%	TR	90%	TR	100%	TB	100%	TR
St. Monitoring Tengah Kedalaman I (0,3 m)	100%	TR	90%	TR	86.67%	TB	100%	TR
St. Monitoring Tengah Kedalaman II (5 m)	100%	TR	93.33%	TR	93.33%	TB	100%	TR
St. Monitoring Tengah Kedalaman III (10 m)	100%	TR	96.67%	TR	100%	TB	100%	TR
St. Monitoring Hilir Kedalaman I (0,3 m)	100%	TR	93.33%	TR	80%	TB	100%	TR
St. Monitoring Hilir Kedalaman II (5 m)	100%	TR	90%	TR	93.33%	TB	100%	TR
St. Monitoring Hilir Kedalaman III (10 m)	100%	TR	100%	TR	100%	TB	100%	TR

Keterangan: TR = Tercemar Ringan
TB = Tercemar Berat

Berdasarkan tabel diatas didapatkan bahwa karakteristik ketercemaran air mulai dari tahun 2015-2020 pada metode DOE-WQI yaitu 96-67%-100% tercemar ringan.

Sehingga, kategori tingkat ketercemaran yang paling mendominasi adalah tercemar ringan. Pada metode Indeks Pencemaran karakteristik kualitas airnya dari tahun 2015 sampai tahun 2019 adalah 90%-100% tercemar ringan. Kategori yang paling mendominasi yaitu tercemar ringan.

Untuk metode Oregon-WQI karakteristik ketercemaran airnya mulai tahun 2015 hingga 2019 ialah 80%-100% tercemar berat, maka kategori ketercemaran yang paling dominan yaitu tercemar berat. Pada metode *Prati Index* didapatkan hasil untuk karakteristik kualitas airnya selama enam tahun (2015-2020) yaitu 100% tercemar ringan, hal ini mengindikasikan bahwa kategori yang paling mendominasi ialah tercemar ringan.

3.2.3 Perbandingan Status Mutu Air Bulan Februari Tahun 2021

Berikut merupakan perbandingan status mutu air dengan menggunakan data primer dan data sekunder pada bulan Februari tahun 2021 dengan menggunakan metode DOE-WQI, Indeks Pencemaran, Oregon-WQI, dan *Prati Index*.

Tabel 8: Rekapitulasi Status Cemar dengan Menggunakan Metode Indeks Kualitas Air

Lokasi	Ked	DOE-WQI		IP		Oregon-WQI		Prati Index	
		Data Primer	Data Sekunder	Data Primer	Data Sekunder	Data Primer	Data Sekunder	Data Primer	Data Sekunder
Stasiun Monitoring Hulu	I (0.3 m)	B	B	TR	TR	TB	TB	TS	TS
	II (4 m)	B	B	TR	TR	TB	TB	TS	TS
Stasiun Monitoring Tengah	I (0.3 m)	B	TR	TR	TR	TB	TB	TS	TR
	II (5 m)	B	TR	TR	TR	TB	TB	TS	TR
	III (10 m)	B	TR	TR	TR	TB	TB	TR	TR
Stasiun Monitoring Hilir	I (0.3 m)	B	TR	TR	TR	TB	TB	TR	TR
	II (5 m)	TR	TR	TR	TR	TB	TB	TR	TR
	III (10 m)	TR	TR	TR	TR	TB	TB	TR	TR

Keterangan:

B = Baik

TR = Tercemar Ringan

TS = Tercemar Sedang

TB = Tercemar Berat

Berdasarkan tabel diatas terlihat bahwa hasil antara data primer dan data sekunder tidak terlalu jauh kategori cemarannya. Untuk metode Indeks Pencemaran dan metode Oregon-WQI menampilkan tingkat ketercemaran yang sama persis pada data primer dan data sekundernya. Sedikit perbedaan terlihat pada metode DOE-WQI dan metode *Prati Index*, terdapat beberapa kategori yang berbeda pada tiap kedalamannya. Namun, jenis tingkat ketercemarannya sama-sama terbagi menjadi dua jenis yaitu baik dan tercemar ringan pada DOE-WQI, serta tingkat cemar sedang dan cemar ringan pada metode *Prati Index*.

Dari hasil perbandingan tabel diatas dapat dikatakan bahwa data primer di laboratorium dan data sekunder dari Pihak Perum Jasa Tirta nilainya cukup mendekati, hanya terdapat perbedaan saja. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh faktor cahaya dan proses penyimpanan sampel, jarak perjalanan dari lapangan ke laboratorium yang cukup jauh, waktu pengujian yang berbeda, perbedaan kriteria dan ketentuan penggunaan alat

pengujian, dan penggunaan metode pengujiannya disesuaikan oleh prosedur dari masing-masing pihak laboratorium. Karena adanya pengaruh pengaruh tersebut tentunya menyebabkan adanya perbedaan hasil dari penentuan status mutu air antara data primer dan data sekunder dari metode DOE-WQI dan metode *Prati-Index*.

3.2.4 Pemetaan Sebaran Kualitas Air Waduk Sutami

Metode yang digunakan dalam pembuatan peta sebaran kualitas air yaitu dengan metode IDW (*Inverse Distance Weighted*). Untuk data x dan y berupa koordinat dari stasiun monitoring Waduk Sutami bagian hulu, tengah, dan hilir. Prosentase ketercemaran metode DOE-WQI, Indeks Pencemaran, Oregon-WQI, dan *Prati Index* diwakilkan oleh data z. Pemetaan ini dibuat secara horizontal. Berikut merupakan contoh peta sebaran karakteristik di Waduk Sutami dengan menggunakan metode DOE-WQI, Indeks Pencemaran, Oregon-WQI, dan *Prati Index*. Pemetaan karakteristik kualitas air dengan menggunakan empat metode kualitas air ditampilkan pada Gambar 2, Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5.

Gambar 2: Peta Karakteristik Kualitas Air Metode DOE-WQI di Waduk Sutami

Gambar 3: Peta Karakteristik Kualitas Air Metode Indeks Pencemaran di Waduk Sutami

Gambar 4: Peta Karakteristik Kualitas Air Metode Oregon-WQI di Waduk Sutami

Gambar 5: Peta Karakteristik Kualitas Air Metode Prati index di Waduk Sutami

Dari gambar-gambar diatas terlihat bahwa untuk daerah yang berwarna biru mewakili keadaan air yang memenuhi baku mutu, untuk warna jingga menandakan jika kondisi airnya tercemar ringan, dan pada warna merah memperlihatkan kondisi air tercemar berat.

3.3 Analisis Daya Tampung Beban Pencemaran Waduk

3.3.1 Pengujian Data Parameter Air Total-P

Pada penelitian ini data mutu air yang akan di uji yaitu parameter Total-P pada Waduk Sutami Hulu kedalaman I (0,3 m) dan II (4 m), Waduk Sutami Tengah kedalaman I (0,3 m), II (5 m), dan III (10 m), serta Waduk Sutami Hilir kedalaman I (0,3 m), II (5 m), dan III (10 m) di musim kering tahun 2016. Uji analisa akan difokuskan dengan menggunakan Uji F. Berikut merupakan hasil pengujian data parameter Total-P.

Tabel 9: Rekapitulasi Uji Homogenitas Parameter Total-P di Musim Kering Tahun 2016

Uji Homogenitas Total-P	Stasiun Monitoring Waduk Sutami		
	Kedalaman I (0,3 m)	Kedalaman II (5 m)	Kedalaman III (10 m)
F_{hitung}	0.625	0.002	0.003
F_{tabel}	19.41	238.90	238.90
Hasil	Homogen	Homogen	Homogen

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan bahwa data parameter Total-P datanya diterima sehingga kondisi varian data termasuk homogen. Hal ini, dikarenakan nilai F_{hitung} nya kurang dari nilai F_{tabel} .

3.3.2 Penentuan Status Trofik di Waduk Sutami Musim Kering 2016

Untuk menghitung besarnya daya tampung beban pencemaran air di waduk, perlu menentukan klasifikasi status trofiknya terlebih dahulu. Perhitungan akan disesuaikan pada Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 28 Tahun 2009. Dalam penelitian ini akan difokuskan pada klasifikasi status trofik Waduk Sutami pada musim kering tahun 2016 dengan menghitung rerata tiap musimnya agar didapatkan hasil kategori status trofik di tiap kedalaman. Penentuan status trofik sebagian besar adalah status trofik. Berikut merupakan perhitungan klasifikasi status trofik di Waduk Sutami.

Tabel 10: Rekapitulasi Status Trofik Total-P Pada Musim Kering 2016 di Waduk Sutami

No	Lokasi	Kedalaman (m)	Total P			
			Oligotrof (%)	Mesotrof (%)	Eutrof (%)	Hipereutrof (%)
1	Hulu	Ked I (0.3 m)	0	0	80	20
		Ked II (4 m)	0	0	60	40
2	Tengah	Ked I (0.3 m)	0	0	80	20
		Ked II (5 m)	0	0	100	0
		Ked III (10 m)	0	0	100	0
3	Hilir	Ked I (0.3 m)	0	0	80	20
		Ked II (5 m)	0	0	100	0
		Ked III (10 m)	0	0	100	0

Dari hasil rekapitulasi status trofik di Waduk Sutami pada musim kering dapat menunjukkan bahwa Waduk Sutami mengalami eutrofikasi sebesar 80% Eutrof, dan 20% Hipereutrof pada Stasiun Monitoring Hulu Tengah dan Hilir di Kedalaman I (0,3 m), 60% Eutrof, dan 40% Hipereutrof pada Stasiun Monitoring Hulu Kedalaman II (4 m), 100% Eutrof, dan 0% Hipereutrof pada Stasiun Monitoring Tengah dan Hilir di Kedalaman II (5 m) dan Kedalaman III (10 m). Sehingga, dipilih status trofik yang paling mendominasi yaitu status Eutrof. Status eutrof ini mengindikasikan bahwa kondisi Waduk Sutami banyak terkandung unsur hara yang tinggi berupa peningkatan kadar Total-P yang menyebabkan air menjadi tercemar.

3.3.3 Penentuan Daya Tampung Beban Pencemaran Tahun 2016

Penelitian ini akan difokuskan dalam perhitungan daya tampung beban pencemaran Waduk Sutami pada tahun 2016 yang mengacu pada besarnya daya tampung beban pencemaran fosfor. Analisis daya tampung beban pencemaran ini akan mengindikasikan banyaknya kadar fosfor maksimum yang dapat ditampung oleh Waduk Sutami dengan memperhatikan kondisi hidrologi dan morfologi waduk tersebut. Rumus-rumus perhitungan didasarkan pada Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 28 Tahun 2009. Berikut merupakan hasil perhitungan daya tampung beban pencemaran waduk tahun 2016 di musim kemarau.

Tabel 11: Rekapitulasi Daya Tampung Beban Pencemaran Waduk Sutami

No	Lokasi	Daya Tampung Beban Pencemaran Kondisi Eutrof	
		(kgP/musim kering)	(mg/m ³)
1	Waduk Sutami Hulu	130803.32	12.448
2	Waduk Sutami Tengah	160678.16	15.291
3	Waduk Sutami Hilir	282599.77	26.894

Dilihat dari besarnya kadar Total-P yang terbawa aliran dan masuk ke Waduk Sutami Hulu, Tengah, dan Hilir pada musim kering tahun 2016 berturut-turut menghasilkan rerata sebesar 89,20 mg/m³, 86,73 mg/m³ dan 76,67 mg/m³, apabila nilainya dibandingkan dengan besarnya daya tampung beban pencemaran waduk di bagian hulu yaitu 12,448 mg/m³, di bagian tengah dan hilir hanya mampu menampung sebesar 15,291 mg/m³ dan 26,894 mg/m³, hal tersebut menampilkan bahwa kadar Total-P telah melebihi batasan maksimum kapasitas waduk dalam menampung polutan berupa limbah fosfor.

4. Kesimpulan

1. Karakteristik status mutu air di Waduk Sutami pada musim kemarau 2015-2020 dengan menggunakan metode DOE-WQI, Indeks Pencemaran, dan Prati Index menunjukkan hasil yang hampir serupa yaitu tercemar ringan. Penentuan status mutu air yang paling berbeda yaitu dengan metode Oregon-WQI dengan menampilkan status mutu air sebagian umum tercemar berat. Hasil yang berbeda pada metode Oregon-WQI disebabkan oleh adanya perbedaan penggunaan parameter. Dari keempat metode didapatkan untuk karakteristik ketercemaran air yaitu tercemar ringan.
2. Status trofik Waduk Sutami di musim kering tahun 2016 mengalami eutrofikasi sebesar 60% - 80% Eutrof. Kadar Total-P untuk bagian hulu, tengah, dan hilir berturut-turut sebesar 89,20 mg/m³, 86,733 mg/m³, dan 76,667 mg/m³. Besarnya daya tampung beban pencemaran Waduk Sutami pada bagian hulu, tengah, dan hilir secara berurutan yaitu 12,448 mg/m³, 15,291 mg/m³, dan 26,894 mg/m³. Dengan perbandingan kadar Total-P dan nilai daya tampungnya, maka memperlihatkan bahwa kadar Total-P melampaui batas kapasitas tampungan beban pencemaran waduk.

Daftar Pustaka

- [1] Menteri Lingkungan Hidup, “Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 01 Tahun 2010 Tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air”, Jakarta: Sekretariat, 2010.
- [2] I. Kasiro, et al., “Bendungan Besar di Indonesia”, Jakarta: Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum, 1995.
- [3] R. Dwiastuti, “Pengelolaan Sumberdaya Lahan dan Air di Daerah Tangkapan Air Bendungan Sutami dan Sengguruh Suatu Pendekatan Optimasi Ekonomi” Disertasi, Program Studi Ilmu Ekonomi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, 2006.
- [4] Department of Environment, “Malaysian Environmental Quality Report (EQR)”, Ministry of Science Technology and the Environment Malaysia, pp. 22, 2009.
- [5] N.L. Nemerow, and H. Sumitomo, “Benefits of Water Quality Enhancement. Report No. 16110 DAJ, prepared for the U.S. Environmental Protection Agency”, New York: University Syracuse, 1970.
- [6] C.G. Cude, “Oregon water quality index: a tool for evaluating water quality management effectiveness”, Journal of the American Water Resources Association, vol. 37, no. 1, pp. 125–137, 2001.
- [7] L. Prati, Pavanello, R., & Pesarin, F, “Assessment Of Surface Water Quality By A Single Index Of Pollution. Water Research”, vol. 5, no. 9, pp. 741-751, 1971.
- [8] B. Triatmodjo, “Hidrologi Terapan”, Yogyakarta: Beta Offset, 2008.
- [9] Soewarno, “Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data Jilid II”, Bandung: NOVA, 1995.
- [10] F.H. Schmidt, dan J.H.A. Ferguson, “Verhandelingen No.42 Rainfall Types Based On Wet And Dry Period Ratios For Indonesia With Western New Guinee”, Jakarta: Kementrian Perhubungan Djawatan Meteorologi, 1951.