Studi Sebaran Karakteristik Kualitas Air dengan Parameter BOD, COD, DO, NH₃-N, TSS, dan pH di Waduk Sutami

Nadya Ayu Nathania^{1*}, Rini Wahyu Sayekti¹, Moh. Sholichin¹

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

*Korespondensi Email : nadyaayunathania.nn@gmail.com

Abstract: Sutami Reservoir is a multipurpose reservoir with a water supply from Brantas River. The problem that occurs in the Brantas River is the decline in water quality due to the high discharge of agricultural, domestic, and industrial waste. The purpose of this study is to determine the distribution of water quality in 2015-2020 for the dry season using the Pollution Index, determine the regression model that best suits the variation of the pollution index value, and determine the pollution load capacity for Total-P in 2016 based on its trophic status. This research was conducted at the Upper, Middle, and Downstream Monitoring Stations at depths I (0.3 m), II (5 m), and III (10 m) for parameters BOD, COD, DO, NH₃-N, TSS, and pH. From this study, it was found that the distribution of water quality of the Sutami Reservoir in 2015-2020 was classified as lightly polluted with the most appropriate regression model, namely the polynomial regression model. By comparing the pollution load capacity for Total-P in 2016 with the level of Total-P that enter the Sutami Reservoir, it was found that the level of Total-P that entered in the Sutami Reservoir had exceeded its proper capacity.

Keywords: Pollution index, pollution load capacity, regression model, trophic status, water quality

Abstrak: Waduk Sutami merupakan waduk multiguna dengan pasokan air dari Sungai Brantas. Permasalahan yang terjadi di Sungai Brantas yaitu menurunnya kualitas air akibat tingginya buangan limbah pertanian, domestik, dan industri. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menentukan sebaran karakteristik kualitas air dimusim kemarau tahun 2015-2020 dengan menggunakan Metode Indeks Pencemaran, menentukan model regresi yang paling sesuai dengan variasi nilai indeks pencemaran, serta menentukan daya tampung beban pencemaran Total-P tahun 2016 berdasarkan status trofiknya. Penelitian ini dilakukan pada Stasiun Monitoring Waduk Sutami Hulu, Tengah, dan Hilir pada kedalaman I (0.3 m), II (5 m), dan III (10 m) untuk parameter BOD, COD, DO, NH₃-N, TSS dan pH. Dari penelitian ini didapatkan hasil sebaran karakteristik kualitas

air Waduk Sutami tahun 2015-2020 tergolong tercemar ringan dengan model regresi yang paling sesuai yaitu model regresi polinomial. Dengan membandingkan nilai daya tampung beban pencemaran Total-P tahun 2016 dengan kadar yang masuk ke Waduk Sutami didapatkan bahwa kadar Total-P yang masuk ke Waduk Sutami telah melebihi daya tampung yang seharusnya.

Kata kunci: indeks pencemaran, kapasitas beban pencemaran, kualitas air, model regresi, status trofik

1. Pendahuluan

Air merupakan sebuah sumber daya terbesar di dunia. Sumber air merupakan wadah air alami atau buatan yang ada di atas atau ada di bawah permukaan tanah yang terdiri dari akuifer, sungai, rawa, mata air, situ, waduk, danau, serta muara [1]. Salah satu waduk yang berada di Jawa Timur yaitu Waduk Sutami. Waduk Sutami berada di Desa Karangates, Sumberpucung, Kabupaten Malang. Waduk Sutami mempunyai tiga manfaat utama yaitu sebagai pengendali banjir dengan kala ulang 50 tahun, penyedia irigasi di daerah hilir sebesar 24 m³/detik dimusim kemarau untuk 34000 Ha, dan sebagai pembangkit listrik tenaga air (PLTA) dengan daya 488 juta kWh/tahun [2].

Waduk Sutami mendapat pasokan air dari Sungai Brantas. Saat ini kondisi Sungai Brantas mengalami pencemaran air. Hal ini diakibatkan oleh tingginya aktivitas pertanian, domestik, dan industri. Menurut Direktur Utama PJT I, limbah yang mencemari Sungai Brantas $\pm$ 60% dari limbah rumah tangga dan $\pm$ 40% dari limbah industri serta limbah bahan beracun dan berbahaya [3]. Dengan semakin tercemarnya Waduk Sutami maka diperlukan adanya penentuan sebaran karakteristik status mutu air waduk disertai dengan kecenderungan tingkat pencemaran air, dengan harapan masyarakat dapat mengetahui status mutu air dengan tepat dari sumber air yang akan digunakan dalam pemenuhan kebutuhan sehari-hari. Selain itu diperlukan pula penentuan daya tampung beban pencemaran pada waduk untuk mengetahui tampungan maksimum suatu kadar parameter pencemar pada waduk, sehingga dapat dilakukan pembatasan penggunaan bahan pencemar tersebut mulai dari bagian hulu DTA waduk tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan sebaran karakteristik kualitas air dimusim kemarau tahun 2015-2020 dengan Metode Indeks Pencemaran, model regresi yang paling sesuai dengan variasi nilai indeks pencemaran (PIj), serta daya tampung beban pencemaran Total-P tahun 2016 berdasarkan kategori status trofiknya.

2. Bahan dan Metode

2.1 Bahan

2.1.1 Daerah Studi

Penelitian dilakukan di Waduk Sutami yang terletak pada Desa Karangates, Sumber Pucung, Kab. Malang. Pihak pengelola Waduk Sutami yaitu Perum Jasa Tirta I. Dalam memonitoring mutu air waduk, PJT I mempunyai tiga Stasiun Monitoring Mutu Air yaitu terdiri atas; St. Monitoring Waduk Sutami Hulu yang terletak di Gampingan, Kec.

Pagak, Kab. Malang dengan koordinat $112^{\circ}31'58.80''\text{BT}$ - $8^{\circ}11'2.40''\text{LS}$; St. Monitoring Waduk Sutami Tengah yang terletak di Jatiguwi, Kec. Sumber Pucung, Kab. Malang dengan koordinat $112^{\circ}28'55.20''\text{BT}$ - $8^{\circ}11'2.40''\text{LS}$; St. Monitoring Waduk Sutami Hilir yang terletak di Kec. Kalipare, Kab. Malang dengan koordinat $112^{\circ}26'52.80''\text{BT}$ - $8^{\circ}9'46.80''\text{LS}$ [4]. Pada tiap-tiap stasiun monitoring memiliki beberapa kedalaman yaitu pada Waduk Sutami Hulu memiliki Ked I (0.3 m) dan Ked II (4 m); Waduk Sutami Tengah memiliki Ked I (0.3 m), Ked II (5 m), dan Ked III (10 m); serta Waduk Sutami Hilir memiliki Ked I (0.3 m), Ked II (5 m), dan Ked III (10 m). Kedalaman pengukuran mutu air pada 3 lokasi stasiun monitoring hanya sampai 10 m karena pada kedalaman 10 m sinar matahari susah untuk menembus air, sehingga sudah tidak terdapat kehidupan makhluk hidup pada kedalaman tersebut. Berikut peta lokasi Stasiun Monitoring Waduk Sutami ditunjukkan pada Gambar 1.

Gambar 1: Peta Lokasi Waduk Sutami

Gambar 1 merupakan lokasi penelitian yang berada di Waduk Sutami dengan tiga titik monitoring yang terdiri dari Waduk Sutami bagian Hulu, Tengah, dan Hilir.

2.1.2 Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sekunder dari beberapa instansi terakait seperti Dinas PU dan Sumber Daya Air Kab. Malang serta PJT I. Data yang dibutuhkan pada penelitian ini antara lain:

1. Data curah hujan pada sekitar Waduk Sutami yang terdiri dari St. Kalipare, St. Geofisika, St. Sumberpucung, St. Kepanjen, St. Ngajum, St. Karangsono, dan St. Gondanglegi tahun 2011-2020.
2. Data mutu air parameter BOD, COD, DO, $\text{NH}_3\text{-N}$, TSS dan pH di Waduk Sutami Hulu (Ked I 0.3 m dan Ked II 4 m), Tengah (Ked I 0.3 m, Ked II 5 m, dan Ked III 10 m),

dan Hilir (Ked I 0.3 m, Ked II 5 m, dan Ked III 10 m) pada musim kemarau (Juni-Oktober) tahun 2015-2020.

3. Data mutu air Total-P pada Waduk Sutami Hulu (Ked I 0.3m dan Ked II 4m), Tengah (Ked I 0.3m, Ked II 5m, dan Ked III 10m), dan Hilir (Ked I 0.3m, Ked II 5m, dan Ked III 10m) pada musim kemarau (Juni-Oktober) tahun 2016.
4. Data sekunder morfologi Waduk Sutami tahun 2016 berupa volume tampungan waduk (V), dan luas perairan waduk (A).
5. Data sekunder hidrologi Waduk Sutami tahun 2016 berupa debit outflow waduk (Qo).
6. Data DEM (*Digital Elevation Model*) lokasi studi, peta shp Waduk Sutami, peta shp DTA Waduk Sutami, serta peta shp DAS Brantas.

2.2 Metode

2.2.1 Penentuan Pembagian Musim

Pada penelitian ini dilakukan penentuan pembagian musim menggunakan data hujan dengan metode *Schmidt and Ferguson*. Menurut Schmidt dan Ferguson, bulan hujan merupakan bulan dengan total curah hujan bulanan > 100 mm/bulan, begitu sebaliknya dengan musim kemarau [5]. Sebelumnya data hujan akan diuji dengan uji konsistensi menggunakan kurva massa ganda, uji ketidak-adaan trend dengan uji Mann-Whitney, serta uji stasioner dengan Uji F dan T. Kemudian dilanjutkan perhitungan curah hujan rerata daerah karena menggunakan lebih dari 1 stasiun hujan.

2.2.2 Penentuan Sebaran Karakteristik Status Mutu Air

Penentuan ini menggunakan metode Indeks Pencemaran. Indeks pencemaran adalah suatu indeks yang diterapkan untuk menentukan tingkat pencemaran relatif dari parameter mutu air yang diijinkan [6]. Sebelumnya, data parameter mutu air akan diuji terlebih dahulu menggunakan Uji F. Berikut langkah-langkah dalam menentukan status mutu air dengan menggunakan metode indeks pencemaran.

1. Kumpulkan data mutu air (Ci)
2. Hitung nilai Ci/Lix atau Ci/Lix baru
 - Apabila kadar parameter menurun menyebabkan tingkat pencemarannya meningkat, misal DO.

$$(Ci/Lij)_{baru} = \frac{(C_M - Ci \text{ hasil pengukuran})}{(Ci - Lij)} \quad \text{Pers. 1}$$

- Apabila nilai Lij memiliki rentang, misal pH.

Apabila $Ci < Lij$ rata-rata:

$$(Ci/Lij)_{baru} = \frac{(Ci - Lj_{rata-rata})}{\{(Lj)_{minimum} - (Lj)_{rata-rata}\}} \quad \text{Pers. 2}$$

Apabila $Ci > Lij$ rata-rata:

$$(Ci/Lij)_{baru} = \frac{(Ci - Lj_{rata-rata})}{\{(Lj)_{maximum} - (Lj)_{rata-rata}\}} \quad \text{Pers. 3}$$

- Apabila nilai $Ci / Lij < 1$ atau $Ci / Lij > 1$, maka menggunakan ketentuan sebagai berikut:
 - Apabila nilai $Ci/Lij < 1.0$ maka menggunakan Ci/Lij hasil pengukuran.

- Apabila nilai $C_i/L_{ij} > 1.0$ maka menggunakan nilai $(C_i/L_{ij})_{\text{baru}}$. Perhitungan C_i/L_{ij} baru ini menggunakan rumus:

$$(C_i/L_{ij})_{\text{baru}} = 1.0 + P \cdot \log(C_i/L_{ij}) \quad \text{Pers. 4}$$

3. Hitung nilai rata-rata dan nilai maksimum dari seluruh nilai C_i/L_{ij} .
4. Hitung nilai PI_j

$$PI_j = \sqrt{\frac{\{(C_i/L_{ij})^2_R + (C_i/L_{ij})^2_M\}}{2}} \quad \text{Pers. 5}$$

5. Tentukan kategori status mutu air dengan membandingkan nilai PI_j dengan tabel kriteria status mutu air.

Tabel 1: Kriteria Status Mutu Air

No	Nilai PI_j	Keterangan
1	$0 \leq PI_j \leq 1.0$	Memenuhi baku mutu (kondisi baik)
2	$1.0 < PI_j \leq 5.0$	Tercemar Ringan
3	$5.0 \leq PI_j \leq 10$	Tercemar Sedang
4	$PI_j > 10$	Tercemar Berat

Tabel 1 merupakan kriteria status mutu air berdasarkan nilai PI_j yang didapatkan dari perhitungan nilai PI_j . Dengan membandingkan nilai PI_j dan keterangan kriteria status mutu air tersebut, maka akan diketahui tingkat ketercemaran dari perairan yang ditinjau.

Setelah didapatkan kategori ketercemaran pada suatu perairan, maka akan dilakukan pemetaan sebaran karakteristik status mutu air menggunakan Metode *Inverse Distance Weighted* (IDW). Untuk mendapatkan hasil yang memuaskan, dalam penggunaan metode ini sampel data yang dipergunakan rapat yang berhubungan dengan variasi lokal yang artinya data tersebut berasal dari data yang seragam [7]. Apabila sampelnya tidak merata, maka hasil pemodelan tidak akan sesuai dengan yang direncanakan [8].

2.2.3 Penentuan Model Regresi

Penentuan model regresi ini digunakan untuk mengetahui kecenderungan tingkat pencemaran air waduk. Terdapat 4 model regresi yang akan digunakan pada penelitian ini, yaitu Model Regresi Linier Sederhana, Model Regresi Eksponensial, Model Regresi Logaritmik, dan Model Regresi Polinomial. Pemodelan regresi ini menggunakan program *Trendline* pada Microsoft Excel 2010. Untuk mendapatkan hasil model regresi, menggunakan data perhitungan nilai status mutu air berupa PI_j yang telah diperoleh pada perhitungan sebelumnya untuk sumbu Y, dan untuk sumbu X berupa waktu. Dari model regresi tersebut didapatkan hubungan antara PI_j dengan waktu, yang selanjutnya akan dicari model regresi yang paling sesuai dengan variasi nilai PI_j . Pemilihan model regresi yang paling sesuai dengan variasi nilai PI_j yaitu berdasarkan nilai R^2 (Uji deterministik statistik). R^2 merupakan besarnya koefisien korelasi atau koefisien deterministik yang menunjukkan hubungan antara variabel X_i dan Y_i . Nilai R^2 yang menunjukkan kesesuaian model regresi yaitu nilai R^2 yang mendekati angka 1 atau yang terbesar dari beberapa model regresi yang digunakan [9]. Semakin mendekati 1 maka hasilnya semakin sesuai, artinya model regresinya berhimpit dengan nilai PI_j nya dengan kata lain menunjukkan hubungan

sumbu Y terhadap sumbu X yang berhimpit dengan jarak antara data PI_j dan model regresinya minimum.

2.2.4 Penentuan Status Trofik

Status trofik merupakan penentuan kualitas air dari suatu perairan berdasarkan kadar unsur hara dan kandungan fitoplankton atau produktivitasnya dengan faktor pembatas penentu eutrofikasi berupa P dan N. Keberadaan fosfor secara berlebihan diimbangi dengan nitrogen dapat merangsang adanya ledakan pertumbuhan algae di perairan waduk [9]. Berikut langkah-langkah penentuan status trofik untuk perairan waduk:

1. Menyiapkan data mutu air Total-P dalam satuan $\mu\text{g/L}$ atau mg/m^3 .
2. Membandingkan data Total-P dengan kriteria status trofik Total-P sesuai PerMenNeg LH Nomor 28 Tahun 2009. Selanjutnya akan didapatkan hasil status trofik Total-P untuk perairan waduk tersebut.

Tabel 2: Kriteria Status Trofik

Status Trofik	Kadar rata-rata total N ($\mu\text{g/L}$)	Kadar rerata total P ($\mu\text{g/L}$)
Oligotrof	≤ 650	< 10
Mesotrof	≤ 750	< 30
Eutrof	≤ 1900	< 100
Hipereutrof	≤ 1900	≥ 100

Tabel 2 merupakan kriteria status trofik berdasarkan nilai kadar rata-rata Total-N dan Total P dengan satuan $\mu\text{g/L}$. Dengan mencocokkan kadar rata-rata Total-N dan Total-P hasil perhitungan dengan tabel kriteria status trofik, maka akan diketahui kategori status trofik dari perairan yang ditinjau.

2.2.5 Penentuan Daya Tampung Beban Pencemaran

Acuan untuk perhitungan dari daya tampung yaitu status trofik dari suatu waduk tersebut. Faktor yang mempengaruhi perhitungan daya tampung beban pencemaran air waduk antara lain:

1. Morfologi dan Hidrologi Waduk
 - Mencari nilai kedalaman rerata dari waduk
$$\bar{Z} = 100 \times \frac{V}{A} \quad \text{Pers. 6}$$
 - Mencari nilai laju penggantian pada air waduk
$$\rho = \frac{Q_0}{V} \quad \text{Pers. 7}$$
2. Alokasi Beban Pencemaran Total-P
$$[Pa]_d = [Pa]_{STD} - [Pa]_I - [Pa]_{DAS} \quad \text{Pers. 8}$$
3. Daya Tampung Beban Pencemaran Total-P
 - Perhitungan daya tampung beban pencemaran persatuan luas waduk
$$L = \frac{\Delta [Pa]_d \bar{Z} \rho}{(1-R)} \quad \text{Pers. 9}$$

dengan nilai R:

$$R = \frac{1}{(1 + 0.747 \rho^{0.507})} \quad \text{Pers. 10}$$

- Perhitungan daya tampung beban pencemaran waduk

$$La = \frac{L \times A}{100} \quad \text{Pers. 11}$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Hidrologi untuk Penentuan Pembagian Musim

3.1.1 Uji Konsistensi dengan uji kurva Massa Ganda

Uji kurva massa ganda merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menguji konsistensi serta kesamaan jenis dari data hidrologi [10]. Berikut data curah hujan tahun 2011-2020 setelah dikoreksi.

Tabel 3: Data Curah Hujan Setelah Dikoreksi

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

Berdasarkan Tabel 3 didapatkan nilai rekapitulasi data curah hujan tahunan yang telah dikoreksi dari hasil pengujian konsistensi kurva massa ganda untuk 7 Stasiun Hujan di sekitar Waduk Sutami tahun 2011 – 2020.

3.1.2 Uji Ketidakadaan Trend dengan uji *Mann-Whitney*

Uji korelasi Man-Whitney ini menguji dua kelompok data untuk mengetahui bahwa data tersebut berasal dari populasi yang sama atau tidak [10]. Penentuan hipotesis data berdasarkan pada derajat kepercayaan 5% dan nilai ijin didapatkan dari tabel Z_{cr} [10]. Apabila nilai $Z_{hitung} < Z_{cr}$ maka hipotesis diterima, sebaliknya untuk $Z_{hitung} > Z_{cr}$ maka hipotesis ditolak.

Tabel 4: Perhitungan Uji Mann-Whitney

Uji <i>Mann-Whitney</i>	Stasiun Hujan						
	Kalipare	Geofisika	Sumber-pucung	Kepanjen	Ngajum	Karang-suko	Gondang-legi
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 4, derajat kepercayaan 5% diperoleh $Z_{tabel} = 1.96$, sehingga diketahui bahwa $Z_{hitung} < Z_{tabel}$ yang artinya hipotesis nol diterima. Maka data hujan dari Stasiun Hujan Kalipare, Geofisika, Sumberpucung, Kepanjen, Ngajum, Karangsuko, dan Gondanglegi berasal dari populasi yang sama.

3.1.3 Uji Stasioner dengan Uji Kestabilan Varian (Uji F)

Uji stasioner merupakan uji yang digunakan untuk menguji suatu kestabilan varian serta rata-rata dari suatu data hidrologi. Pengujian ini menggunakan uji F dengan F_{tabel} berdasarkan derajat kepercayaan 5% secara dua arah dengan derajat kebebasan dk_1 dan dk_2 . Apabila nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$ maka hipotesa diterima, sebaliknya apabila $F_{hitung} > F_{tabel}$ hipotesa akan ditolak.

Tabel 5: Perhitungan Uji Kestabilan Varian

Uji F	Stasiun Hujan						
	Kalipare	Geofisika	Sumber pucung	Kepanjen	Ngajum	Karang-suko	Gondang-legi
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 5, dengan derajat kepercayaan 5% diperoleh $F_{tabel} = 6.39$, sehingga diketahui bahwa $F_{hitung} < F_{tabel}$ yang artinya hipotesis diterima. Maka data hujan dari Stasiun Hujan Kalipare, Geofisika, Sumberpucung, Kepanjen, Ngajum, Karangsuko, dan Gondanglegi memiliki nilai varian stabil atau homogen.

3.1.4 Uji Stasioner dengan Uji Kestabilan Nilai Rerata (Uji-T)

Uji T merupakan kelanjutan pengujian stasioner apabila data telah menunjukkan stasioner. Dalam uji T akan di uji kestabilan nilai reratanya, sehingga diketahui bahwa hipotesis data tersebut diterima atau ditolak. Nilai t_{tabel} dari derajat kepercayaan 5% secara dua arah dan derajat kebebasan $dk = n_1 + n_2 - 2$. Apabila $t_{hitung} < t_{tabel}$ maka hipotesis diterima. Sebaliknya jika nilai $t_{hitung} > t_{tabel}$ hipotesa pasti ditolak.

Tabel 6: Perhitungan Kestabilan Rata-Rata

Uji T	Stasiun Hujan						
	Kalipare	Geofisika	Sumber pucung	Kepanjen	Ngajum	Karang-suko	Gondang-legi
t_{hitung}	-0.72	-0.45	-0.73	-0.59	-0.50	-0.57	-0.79
t_{tabel}	2.306	2.306	2.306	2.306	2.306	2.306	2.306
Ket	Diterima	Diterima	Diterima	Diterima	Diterima	Diterima	Diterima

Berdasarkan Tabel 6, dengan derajat kepercayaan 5% diperoleh $t_{tabel} = 2.306$, sehingga diketahui bahwa $t_{hitung} < t_{tabel}$ yang artinya hipotesis diterima. Maka data hujan dari Stasiun Hujan Kalipare, Geofisika, Sumberpucung, Kepanjen, Ngajum, Karangsuko, dan Gondanglegi memiliki nilai varian stabil atau homogen.

3.1.5 Penentuan Pembagian Musim

Penentuan pembagian musim ini menggunakan metode Schmidt dan Ferguson dengan data curah hujan periode 2011 – 2020. Karena terdapat 7 stasiun hujan disekitar Waduk Sutami, maka dicari curah hujan daerahnya terlebih dahulu dengan metode rata-rata aritmatik kemudian dilakukan penentuan pembagian musimnya. Berikut penentuan pembagian musim pada Waduk Sutami.

Tabel 7: Penentuan Pembagian Musim

Tahun	Curah Hujan Bulanan Rerata Daerah (mm)											
	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
Batas												
Bulan	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100
Basah												
Ket	B	B	B	B	B	Kering	Kering	Kering	Kering	Kering	B	B

Dari Tabel 7 didapatkan hasil bahwa bulan November – Mei merupakan bulan basah dan bulan Juni – Oktober merupakan bulan kering. Bulan kering ini digunakan sebagai acuan untuk analisa penentuan kualitas air karena pada penelitian ini, penentuan kualitas air dilakukan pada bulan kering atau musim kemarau saja.

3.2 Analisis Mutu Air

3.2.1 Pengujian Data Mutu Air

Pengujian Data Mutu Air dilakukan dengan uji homogenitas data atau yang biasa disebut analisa variansi. Uji data ini digunakan untuk mengetahui keseragaman dari data-data tersebut, karena diambil dari beberapa titik selama 6 tahun mulai tahun 2015 sampai dengan tahun 2020. Berikut hasil pengujian data mutu air pada Waduk Sutami.

Tabel 8: Rekapitulasi Hasil Pengujian Data Mutu Air

Parameter	2015			2016			2017			2018			2019			2020		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
BOD	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
COD	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
DO	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
NH ₃ -N	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
TSS	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
PH	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H

Dari Tabel 8 didapatkan hasil bahwa pada Stasiun Monitoring ked I, II, dan III tahun 2015-2020 untuk 6 parameter tersebut adalah homogen (pada tabel tertulis H) yang artinya data tersebut sama jenis.

3.2.2 Penentuan Status Mutu Air Waduk Sutami

Penentuan status mutu air pada penelitian ini menggunakan metode Indeks Pencemaran. Berikut merupakan *prosentase* ketercemaran Waduk Sutami dengan menggunakan metode indeks pencemaran di musim kemarau tahun 2015-2020.

Tabel 9: *Prosentase* Status Mutu Air Waduk Sutami Tahun 2015 - 2020

Golongan	Stasiun Monitoring							
	Hulu		Tengah			Hilir		
	0.3 m	4 m	0.3 m	5 m	10 m	0.3 m	5 m	10 m
Memenuhi Baku Mutu	10%	6.67%	6.67%	6.67%	3.33%	6.67%	10%	0%
Tercemar Ringan	90%	93.33%	93.33%	93.33%	96.67%	93.33%	90%	100%
Ket	T.Ringan	T.Ringan	T.Ringan	T.Ringan	T.Ringan	T.Ringan	T.Ringan	T.Ringan

Dari Tabel 9 didapatkan hasil bahwa sebaran karakteristik status mutu air pada; Stasiun Monitoring Waduk Sutami Hulu Ked I (0.3 m) dan II (4 m); Tengah Ked I (0.3 m), II (5 m) dan III (10 m); serta Hilir Ked I (0.3 m), II (5 m) dan III (10 m) pada tahun 2015 – 2020 memiliki nilai *prosentase* status mutu air untuk kategori tercemar ringan lebih besar dari kategori memenuhi baku mutu. Sehingga pada Waduk Sutami termasuk kategori tercemar ringan.

3.2.3 Pemetaan Sebaran Karakteristik Status Mutu Air Waduk Sutami

Pemetaan sebaran karakteristik status mutu air Waduk Sutami degan interpolasi metode *Inverse Distance Weighted* (IDW). Variabel X, Y berupa koordinat Stasiun Monitoring dan variabel Z berupa *prosentase* status mutu air. Pada penelitian ini, pemetaan sebaran mutu air dibuat secara horizontal untuk masing-masing kedalaman.

Gambar 2: Peta Sebaran Karakteristik Status Mutu Air Waduk Sutami

Dari Gambar 2 didapatkan bahwa karakteristik kualitas air Waduk Sutami pada kedalaman I (0.3 m) tahun 2015 - 2020 tergolong tercemar ringan dengan *prosentase* antara 90.00% – 93.33% dan *prosentase* tertinggi pada Stasiun Monitoring Hulu. Warna hijau

menunjukkan nilai *prosentase* yang lebih rendah dibandingkan dengan warna kuning. Pada kedalaman II (5 m) tahun 2015 - 2020 tergolong tercemar ringan dengan *prosentase* antara 90.00% – 93.33% dan *prosentase* tertinggi pada Stasiun Monitoring Hulu dan Tengah. Pada kedalaman III (10 m) tahun 2015 – 2020 tergolong tercemar ringan dengan *prosentase* antara 96.67% – 100% dan *prosentase* tertinggi pada Stasiun Monitoring Hilir.

3.3 Model Regresi Status Mutu Air Waduk Sutami

Model regresi status mutu air ditentukan setelah perhitungan status mutu air. Pemodelan yang digunakan yaitu model regresi linier, polinomial, eksponensial, dan logaritmik. Dalam model regresi, sumbu X berupa waktu dan sumbu Y berupa nilai PIj. Dari model regresi tersebut didapatkan hubungan antara PIj dengan waktu, yang selanjutnya akan dicari model regresi yang paling sesuai dengan variasi nilai PIj. Pemilihan model regresi yang paling sesuai dengan variasi nilai PIj yaitu berdasarkan nilai R^2 yang mendekati 1 atau nilai R^2 tertinggi dari keempat model regresi tersebut.

Tabel 10: Model Regresi Waduk Sutami dengan Nilai R^2 Tertinggi Tiap Kedalaman

Lokasi Stasiun Monitoring Waduk Sutami		Persamaan dan Nilai R^2	Keterangan
Hulu	Kedalaman I (0,3 m)	$y = -0.0009x^2 + 0.0743x + 0.9655$ $R^2 = 0.6423$	Regresi Polinomial
	Kedalaman II (4 m)	$y = -0.0021x^2 + 0.1072x + 0.9335$ $R^2 = 0.6895$	Regresi Polinomial
Tengah	Kedalaman I (0,3 m)	$y = -0.0016x^2 + 0.0976x + 0.8195$ $R^2 = 0.7092$	Regresi Polinomial
	Kedalaman II (5 m)	$y = -0.0015x^2 + 0.0899x + 0.9695$ $R^2 = 0.6588$	Regresi Polinomial
	Kedalaman III (10 m)	$y = -0.0017x^2 + 0.0873x + 1.174$ $R^2 = 0.5858$	Regresi Polinomial
Hilir	Kedalaman I (0,3 m)	$y = -0.0008x^2 + 0.0656x + 1.1174$ $R^2 = 0.6285$	Regresi Polinomial
	Kedalaman II (5 m)	$y = -0.003x^2 + 0.1359x + 0.7372$ $R^2 = 0.8204$	Regresi Polinomial
	Kedalaman III (10 m)	$y = -0.0014x^2 + 0.0697x + 1.3616$ $R^2 = 0.5937$	Regresi Polinomial

Dari Tabel 10 didapatkan hasil bahwa model regresi dengan nilai R^2 tertinggi pada Stasiun Monitoring Waduk Sutami hulu, tengah, dan hilir pada tiap kedalamannya (8 titik kedalaman) yaitu model regresi polinomial. Artinya model regresi yang paling sesuai dengan variasi nilai PIj adalah model regresi polinomial. Selanjutnya untuk mengetahui model regresi yang paling sesuai pada lokasi titik Stasiun Monitoring Waduk Sutami hulu, tengah, dan hilir, maka diambil nilai R^2 tertinggi dari masing-masing kedalamannya.

Tabel 11: Model Regresi Waduk Sutami dengan Nilai R^2 Tertinggi

Lokasi Stasiun Monitoring Waduk Sutami		Persamaan dan Nilai R^2	Keterangan
Hulu		$y = -0.0021x^2 + 0.1072x + 0.9335$ $R^2 = 0.6895$	Regresi Polinomial
Tengah		$y = -0.0016x^2 + 0.0976x + 0.8195$ $R^2 = 0.7092$	Regresi Polinomial
Hilir		$y = -0.003x^2 + 0.1359x + 0.7372$ $R^2 = 0.8204$	Regresi Polinomial

Dari Tabel 11 didapatkan hasil bahwa model regresi dengan nilai R^2 yang paling sesuai dengan variasi nilai PIj Stasiun Monitoring Waduk Sutami hulu, tengah, hilir yaitu model regresi polinomial. Model regresi polinomial ini berbentuk garis lengkung yang memiliki kecenderungan semakin naik dari waktu ke waktu dan selanjutnya datar hingga turun pada akhir periode. Yang artinya trend tingkat ketercemarannya cenderung terus menerus naik dan mulai stabil hingga menurun pada akhir periode waktu yang diteliti.

3.4 Analisis Daya Tampung Beban Pencemaran Waduk Sutami

3.4.1 Pengujian Data Mutu Air Total-P

Pada penelitian ini data mutu air parameter Total-P tahun 2016 akan diuji menggunakan Uji F untuk mengetahui keseragaman dari data-data tersebut, karena diambil dari beberapa titik. Berikut merupakan hasil pengujian data parameter Total-P.

Tabel 12: Model Regresi Waduk Sutami dengan Nilai R^2 Tertinggi

Waduk Sutami	F_{hitung}	F_{tabel}	Kesimpulan
Kedalaman I (0.3 m)	0.6247	19.41	Homogen
Kedalaman II (5 m)	0.0024	238.9	Homogen
Kedalaman III (10 m)	0.0034	238.9	Homogen

Dari Tabel 12 didapatkan hasil bahwa pada Waduk Sutami Hulu, Tengah, dan Hilir pada kedalaman I (0,3 m), II (5 m), dan III (10 m) adalah homogen, yang artinya tidak berbeda nyata atau sama jenis.

3.4.2 Penentuan Status Trofik Total-P Tahun 2016 di Waduk Sutami

Perhitungan status trofik waduk mengacu pada PerMenNeg LH Nomor 28 Tahun 2009. Status trofik merupakan acuan dalam pengerjaan daya tampung pencemaran pada waduk. Pada penelitian ini, perhitungan status trofik hanya menggunakan parameter fosfor dalam bentuk Total-P untuk musim kemarau (Juni – Oktober) tahun 2016. Berikut *prosentase* status trofik Waduk Sutami pada tiap kedalaman tahun 2016.

Tabel 13: *Prosentase* Status Trofik Waduk Sutami Tahun 2016

No	Lokasi	Kedalaman (m)	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 Tabel 13 didapatkan hasil bahwa berdasarkan *prosentase* tersebut, maka status trofik yang paling dominan pada Waduk Sutami yaitu status trofik Eutrof yang artinya

Waduk Sutami termasuk pada tipe waduk yang telah mengalami proses pengkayaan bahan organik dan anorganik (nutrein).

3.4.3 Penentuan Daya Tampung Beban Pencemaran Total-P Tahun 2016

Daya tampung beban pencemaran Total-P menunjukkan jumlah konsentrasi fosfor maksimum yang mampu ditampung oleh Waduk Sutami berdasarkan dari kondisi morfologi dan hidrologi dari Waduk Sutami. Berikut nilai daya tampung beban pencemaran pada Waduk Sutami tahun 2016.

Tabel 14: Daya Tampung Beban Pencemaran Total-P Waduk Sutami

No	Lokasi	Kadar Total-P ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Daya Tampung Beban Pencemaran Total-P ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Keterangan
1	Waduk Sutami Hulu	89.200	12.448	Melebihi daya tampung
2	Waduk Sutami Tengah	86.733	15.291	Melebihi daya tampung
3	Waduk Sutami Hilir	76.667	26.894	Melebihi daya tampung

Berdasarkan Tabel 14 didapatkan bahwa kadar Total-P yang masuk di perairan Waduk Sutami bagian hulu $89.20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, bagian tengah $86.733 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan bagian hilir $76.667 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sedangkan daya tampung beban pencemaran Total-P berkisar $12 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 27 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sehingga diketahui bahwa kadar Total-P yang masuk pada perairan Waduk Sutami telah melebihi daya tampung beban pencemaran Total-P di Waduk Sutami. Dengan kata lain kadar yang masuk tersebut telah melebihi batas maksimum kemampuan Waduk Sutami dalam menampung beban pencemaran Total-P.

4. Kesimpulan

Sebaran karakteristik mutu air Waduk Sutami tahun 2015 - 2020 berdasarkan penentuan status mutu air dengan metode Indeks Pencemaran didapatkan dari ketiga kedalaman di Waduk Sutami Hulu, Tengah, dan Hilir dinyatakan tercemar ringan yang artinya cukup baik bagi peruntukan air Kelas II berdasarkan baku mutu pada Peraturan Pemerintah RI No. 82 Tahun 2001. Berdasarkan nilai PIj dari penentuan status mutu air, didapatkan model regresi yang paling sesuai dengan variasi nilai PIj pada Waduk Sutami Hulu, Tengah, dan Hilir adalah model regresi polinomial.

Selain tergolong tercemar ringan, berdasarkan status trofiknya Waduk Sutami tergolong waduk dengan status trofik eutrof. Dalam perhitungan daya tampung beban pencemaran dengan status trofik eutrof didapatkan nilai total daya tampung beban pencemaran Total-P pada Stasiun Monitoring Waduk Sutami Hulu sebesar $12.448 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Tengah sebesar $15.291 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan Hilir sebesar $26.894 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dari nilai daya tampung tersebut, saat dibandingkan dengan kadar Total-P yang masuk ke Waduk Sutami, didapatkan bahwa kadar tersebut melebihi batas maksimum kemampuan Waduk Sutami dalam menampung beban pencemaran Total-P atau daya tampung beban pencemarannya. Karena kadar Total-P yang masuk ke Waduk Sutami bagian hulu, tengah, dan hilir semua melebihi batas maksimum kemampuan Waduk Sutami dalam menampung beban pencemaran limbah Total-P, maka sebaiknya diperlukan upaya-upaya oleh pihak pengelola dalam mengontrol masuknya beban pencemaran tersebut ke Waduk Sutami.

Daftar Pustaka

- [1] Undang-Undang Dasar, “Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2019 tentang Sumber Daya Air”, Jakarta: Sekretariat Negara, 2019.
- [2] I. Kasiro, et al., “Bendungan Besar di Indonesia”, Jakarta: Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum, 1995.
- [3] E. Widiyanto. *Sungai Brantas Makin Memprihatinkan* [Online]. Available: www.mongabay.co.id/2019/05/12/sungai-brantas-makin-memprihatinkan, May 12, 2019 [Accessed June 26, 2020].
- [4] 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.
- [5] Hartanto, et al., “Kualitas Air Pada Puncak Musim Kemarau Di Daerah Rawa Danau Kabupaten Serang”, Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan, vol. 29, no. 1, pp. 13 – 25, 2019.
- [6] 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.
- [7] D.F. Watson, and G.M. Philip, “A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation”, Geo-Processing, vol. 2, no.1, pp. 315 – 327, 1985.
- [8] G.H. Pramono, “Akurasi Metode IDW dan Kriging Untuk Interpolasi Sebaran Sedimen Tersuspensi di Maros, Sulawesi Selatan”, Jurnal Forum Geografi, vol.22, no.1, pp. 145 – 158, 2008.
- [9] Soewarno, “Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data Jilid II”, Bandung: NOVA, 1995.
- [10] R.W. Sayekti, et al., “Studi Evaluasi Kualitas dan Status Trofik Air Waduk Selorejo Akibat Erupsi Gunung Kelud untuk Budidaya Perikanan”, Jurnal Teknik Pengairan, vol.6, no.1, pp. 133 – 145, 2015.