



Riwayat Artikel:

Masuk: 04-10-2023

Diterima: 30-11-2023

Dipublikasi: 10-05-2024

Cara Mengutip:
Wulandari, Bella Meitha,
and Naniek Ratni J.A.R.
2024. "Analisis
Pengendalian Kualitas
Air Sungai Dengan
Penerapan Metode Six
Sigma (DMAIC): Studi
Sungai Wonokromo
Segmen Jl. Nginden
Intan – Jl. Wonorejo".
Jurnal Ekologi,
Masyarakat Dan Sains 5
(1): 66-77.
[https://doi.org/10.55448/
8va15m80](https://doi.org/10.55448/8va15m80).

Lisensi:

Hak Cipta (c) 2022 Jurnal
Ekologi, Masyarakat dan Sains



Artikel ini berlisensi *Creative
Commons Attribution-
NonCommercial 4.0
International License*.

Artikel

Analisis Pengendalian Kualitas Air Sungai Dengan Penerapan Metode *Six Sigma* (DMAIC): Studi Sungai Wonokromo Segmen Jl. Nginden Intan – Jl. Wonorejo

Bella Meitha Wulandari¹✉, Naniek Ratni J.A.R¹

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Jl. Raya Rungkut Madya, Gunung Anyar, Kota Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

✉ Penulis koresponden: bella.mheta@gmail.com

Abstrak: Sungai Wonokromo merupakan salah satu cabang Sungai Surabaya bagian DAS Brantas. Keberadaan Sungai Wonokromo yang melintasi kawasan padat penduduk dapat meningkatkan risiko tinggi terhadap pencemaran lingkungan. Berdasarkan Peraturan Daerah Kota Surabaya Tahun 2014-2034, Sungai Wonokromo akan dikembangkan menjadi destinasi wisata dan pusat pelayanan angkutan sungai. Sehingga diperlukan penelitian yang berfokus pada permasalahan terjadinya kegagalan pada air sungai yang tidak memenuhi baku mutu sesuai peruntukannya. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis pengendalian kualitas air Sungai Wonokromo untuk mengidentifikasi level sigma yang tidak sesuai dengan spesifikasi dan mengusulkan perbaikan dalam mengurangi kegagalan. Analisis data menggunakan metode *Six Sigma* dengan tahapan DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*). Hasil penelitian ini memperoleh nilai DPMO (*Defect Per Million Opportunity*) sebesar 130.300 dengan nilai level sigma 2,625. Kegagalan dalam kualitas air Sungai Wonokromo dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya kegiatan industri, kegiatan domestik, kurangnya partisipasi masyarakat, dan strategi pengelolaan sungai. Untuk memaksimalkan pengurangan kegagalan, diperlukan upaya perbaikan yang dapat dilakukan disekitar Sungai, seperti melakukan integrasi perencanaan, penegakan hukum yang berlaku, dan memanfaatkan teknologi sensor untuk memantau aktivitas sepanjang tepian sungai.

Kata Kunci: kualitas air sungai, pengendalian kualitas, *six sigma*

Abstract: *The Wonokromo River is one of the branches of the Surabaya River part of the Brantas watershed. The existence of the Wonokromo River which crosses densely populated areas can increase the risk of environmental pollution. Based on the 2014-2034 Surabaya City Regional Regulations, the Wonokromo River will be developed into a tourist destination and river transportation service center. So, research is needed that focuses on the problem of failure in river water that does not meet the quality standards according to its intended purpose. The aim of this research is to analyze the water quality control of the Wonokromo River to identify sigma levels that do not comply with specifications and propose improvements to reduce failures. Data analysis uses the Six Sigma method with DMAIC stages (Define, Measure, Analyze, Improve, Control). The results of this research obtained a DPMO (Defect Per Million Opportunity) value of 130.300 with a sigma level value of 2,625. Failure in the water quality of the Wonokromo River is influenced by several factors including industrial activities, domestic activities, lack of community participation, and river management strategies. To maximize the reduction of failures, improvement efforts are needed that can be carried out around the river, such as integrating planning, enforcing applicable laws, and utilizing sensor technology to monitor activities along the river banks.*

Keywords: river water quality, quality control, *six sigma*

1 PENDAHULUAN

Air Sungai merupakan salah satu sumber daya alam yang memiliki peran penting bagi kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya. Pencemaran lingkungan semakin meningkat dari tahun ke tahun. Peningkatan tersebut terjadi karena adanya pertumbuhan penduduk, urbanisasi penduduk, dan industri yang terus berkembang di sekitar sungai (Dawud et al., 2016).

Sungai Wonokromo merupakan salah satu anak Sungai Surabaya bagian DAS Brantas. Sungai ini mengalir sepanjang 9 km, dengan lebar 73 m, dan mencakup luas wilayah 253 km² (Mawaddati et al., 2021). Keberadaan Sungai Wonokromo yang melintasi daerah padat penduduk menyebabkan potensi pencemaran yang sangat tinggi. Potensi pencemaran Sungai Wonokromo berasal dari limbah domestik yang bersumber dari pemukiman penduduk, industri kecil di sekitar sungai seperti usaha *laundry* yang membuang limbah cair langsung ke badan air (Purnamasari, 2017).

Menurut data Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Kota Surabaya tahun 2016 – 2021 menyatakan bahwa kualitas air Sungai Wonokromo saat ini masuk ke dalam baku mutu air kelas III, yang mana hal tersebut tidak sesuai dengan Peraturan Daerah Kota Surabaya Nomor 12 Tahun 2014 tentang Rencana Tata Ruang dan Wilayah (RTRW) Kota Surabaya Tahun 2014-2034 yang menyebutkan bahwa Sungai Wonokromo akan digunakan sebagai tempat wisata dan pelayanan angkutan sungai. Sehingga berdasarkan pemanfaatan tersebut, kualitas air Sungai Wonokromo seharusnya berada pada baku mutu air kelas II.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Mawaddati et al., 2021) tentang pengujian kualitas air Sungai Wonokromo dan penentuan daya tampung beban pencemar dari masing-masing segmen diperoleh hasil bahwa Sungai Wonokromo mengalami pencemaran dan terdapat beberapa parameter yang tidak memenuhi baku mutu air kelas II yakni parameter DO, BOD, COD, dan TSS. Hasil penelitian tersebut didukung oleh observasi awal terkait pencemaran sungai yang menunjukkan adanya beberapa indikasi pemicu, seperti aktivitas pembuangan limbah domestik, pembuangan sampah rumah tangga, industri, dan pembuangan limbah medis secara langsung ke sungai tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu.

Dengan adanya temuan diatas, maka diperlukan penelitian lebih lanjut yang dapat memberikan sebuah solusi dan cara pengendalian yang tepat untuk mengatasi kualitas air Sungai

Wonokromo. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk pengendalian kualitas Sungai Wonokromo adalah metode *Six Sigma* (DMAIC). Metode *Six Sigma* merupakan sebuah konsep statistik yang dapat meminimalkan cacat dan variasi hingga 3,4 *defect per million opportunities* (Anisa Rosyidasari & Iftadi, 2020). Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi level sigma yang tidak sesuai dengan spesifikasi dan mengusulkan perbaikan dalam mengurangi kegagalan yang terjadi pada Sungai Wonokromo.

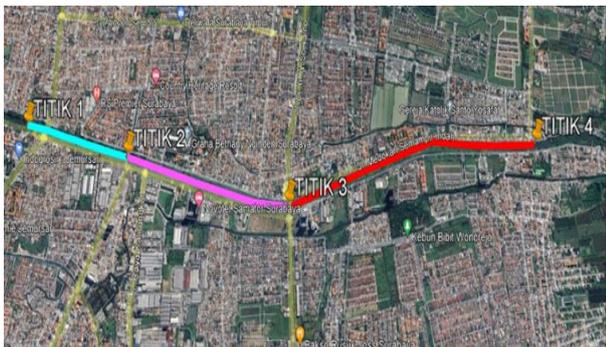
2 METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada Sungai Wonokromo dengan panjang kurang lebih 5 km dari hulu (Jl. Nginden Intan) hingga hilir (Jl. Wonorejo) area tersebut merupakan kawasan padat penduduk yang menyebabkan tingginya potensi pencemaran di Sungai Wonokromo. Waktu pengambilan sampel dilakukan sebanyak dua kali dengan interval satu minggu sekali di pagi pukul 08.00 WIB dan sore hari pukul 16.00 WIB. Sedangkan lokasi penelitian terbagi menjadi 2 batasan yakni segmentasi dan titik pengambilan sampel. Dalam pembagian segmen di Sungai Wonokromo terbagi menjadi 3 segmen dengan jumlah titik pengambilan sampel terdapat 4 titik. Adapun gambaran lokasi titik sampling dan pembagian segmen Sungai Wonokromo dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 1 berikut.

Tabel 1. Segmentasi Sungai Wonokromo

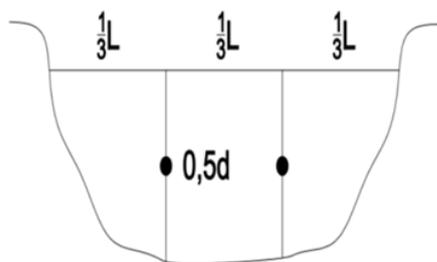
Segmen	Nama Segmen	Panjang (Km)	Koordinat	
			Hulu	Hilir
Segmen 1 (Titik 1 – Titik 2)	Jl. Nginden Intan – Jl. Panjang Jiwo	1,10	7°18'21.98"S	7°18'28.15"S
Segmen 2 (Titik 2 – Titik 3)	Jl. Panjang Jiwo – Jl. Dr. Ir. H. Soekarno	1,40	7°18'28.15"S	7°18'39.94"S
Segmen 3 (Titik 3 – Titik 4)	Jl. Dr. Ir. H. Soekarno – Jl. Wonorejo Timur	2,25	7°18'39.94"S	7°18'28.19"S
			112°45'42.32"E	112°46'5.61"E
			112°46'5.61"E	112°46'4.95"E
			112°46'49.61"E	112°48'1.69"E



Gambar 1. Segmentasi dan Titik Sampling
Sumber: (Google Earth Pro., 2023)

Pengambilan Sampel Air Sungai

Pengambilan sampel air sungai mengacu pada SNI 6989.57.2008 mengenai Air dan Air Limbah pada Bagian 57 yaitu Metode Pengambilan Contoh Air Permukaan. Pada masing-masing segmen terdapat 2 titik pengambilan air sampel, yakni pada jarak $\frac{1}{3}$ dan $\frac{2}{3}$ lebar sungai pada kedalaman 0,5 kali kedalaman permukaan air. Pengambilan sampel dilakukan menggunakan teknik gabungan tempat (*Integrated place sample*) dengan campuran dari beberapa titik tertentu yang mana volume dan waktu pengambilan dilakukan secara 2 kali pada setiap titik lokasi yang bertujuan untuk mewakili parameter kualitas air Sungai Wonokromo sebagai wilayah analisa. Teknik pengambilan sampel Contoh pengambilan sampel air dapat dilihat pada **Gambar 2** berikut ini.



Gambar 2. Contoh Pengambilan Sampel
Sumber: (SNI 6989.57:2008)

Analisis Laboratorium

Analisis laboratorium dilakukan untuk mengetahui kualitas air sungai sudah memenuhi atau melampaui baku mutu yang dipersyaratkan. Parameter air sungai yang di uji terdapat 6 (pH, Suhu, DO, BOD, COD, dan TSS) parameter yang digunakan sebagai bahan pengukuran kualitas air Sungai Wonokromo.

Analisa Data

Pada penelitian ini digunakan metode *Six Sigma* DMAIC sebagai analisa data. DMAIC

terdiri dari lima tahapan yakni *Define-Measure-Analyze-Improve-Control*. Secara rinci dapat dilihat pada penjabaran berikut:

1) Tahap *Define*

Define merupakan tahapan untuk mendefinisikan proses yang akan dibahas sebelum menentukan karakteristik kualitas dan lainnya (Rimantho & Mariani, 2017). Sedangkan menurut (Wulansari & Karnaningroem, 2019) *define* ialah sebuah langkah dalam menentukan rencana tindakan yang harus dilakukan untuk sebuah perbaikan dari setiap tahapan proses dengan menentukan CTQ (*Critical to Quality*) dalam sebuah penelitian.

2) Tahap *Measure*

Pada tahap ini dilakukan pengukuran kinerja proses dengan menghitung DPMO (*Defect Per Million Opportunities*) dan menentukan nilai level sigma. Perhitungan nilai DPMO dan level sigma adalah sebagai berikut:

a) Menghitung DPU (*Defects Per Unit*)

DPU merupakan rasio jumlah cacat per unit. DPU dihitung dengan cara jumlah cacat yang terjadi dibagi dengan jumlah unit yang digunakan. Persamaannya sebagai berikut:

$$DPU = \text{Jumlah cacat} / \text{Jumlah Sampel}$$

b) Menghitung DPO (*Defects Per Opportunities*)

DPO adalah ukuran kegagalan yang dihitung dalam program peningkatan kualitas *Six Sigma* dengan menunjukkan jumlah cacat per satu kesempatan. Berikut adalah kalkulasi DPO:

$$DPO = DPU / CTQ$$

c) Menghitung DPMO (*Defects Per Million Opportunity*)

DPMO merupakan ukuran kegagalan dalam program *Six Sigma*, dengan menunjukkan kegagalan per satu juta kesempatan. Berikut adalah perhitungan DPMO:

$$DPMO = DPO \times 1.000.000$$

d) Menentukan *Level Sigma*

Penentuan *level sigma* bertujuan untuk menggambarkan variabilitas proses sejauh mana dapat diatur pada tingkat *sigma* dengan melihat tabel konversi DPMO yang dimiliki *Six Sigma*.

3) Tahap *Analyze*

Tahap ketiga dilakukan analisis hasil pengukuran yang telah dikumpulkan pada tahap sebelumnya dan mencari korelasi di antara data yang ada untuk mengidentifikasi akar penyebab dari kegagalan pada kualitas air sungai

4) Tahap *Improve*

Pada langkah keempat diusulkan rekomendasi atau tindakan perbaikan secara umum dalam menekan tingkat kecacatan yang terjadi dalam kualitas air sungai (Izzah & Rozi, 2019).

5) Tahap *Control*

Tahap akhir dari metode *Six Sigma* adalah control. Tahap ini berisi mengenai suatu kepastian solusi yang telah diusulkan ditahap sebelumnya agar dapat diterapkan dengan baik serta melakukan pengawasan hasil usulan untuk memastikan efektivitasnya.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data variabel parameter dari hasil uji laboratorium. Dari data tersebut ditemukan kegagalan atau kecacatan pada beberapa parameter uji yang tidak memenuhi baku mutu sesuai dengan peruntukan yang dipersyaratkan. Untuk mengatasi masalah tersebut dapat melalui metode *Six Sigma* dengan lima tahapan yang dikenal dengan konsep DMAIC (*Define-Measure-Analyze-Improve-Control*). Secara detail akan dibahas sebagai berikut ini:

Tahap *Define*

Pada tahap *define* terdapat beberapa hal yang harus dilakukan, yang pertama adalah menetapkan CTQ berdasarkan hasil observasi yang telah dilakukan. Dalam konteks penelitian ini, CTQ (*Critical to Quality*) yang digunakan terdapat 6 parameter meliputi Suhu, pH, DO, BOD, COD, dan TSS. CTQ digunakan untuk mengetahui karakteristik kualitas air agar mdapat mencapai standar spesifikasi. Adapun hasil uji kualitas air Sungai Wonokromo dapat dilihat pada **Tabel 2** dan **Tabel 3**.

Tabel 2. Data Kualitas Air Sungai Wonokromo Minggu ke-1

Pengambilan Sampel Air di Pagi Hari						
Titik Sampling	Parameter (mg/L)					
	pH	Suhu	DO	BOD ₅	COD	TSS
1	7,85	29	3,04	18,56	225,5	447

2	7,72	30	2,64	19,82	232	423
3	7,63	30	3,12	17,93	243	380
4	7,53	29	4,09	20,85	213,3	342

Pengambilan Sampel Air di Sore Hari

Titik Sampling	Parameter (mg/L)					
	pH	Suhu	DO	BOD ₅	COD	TSS
1	7,65	27	3,84	18,85	242,1	420
2	7,67	28	2,81	21,87	218,8	340
3	7,23	28	3,95	19,82	213,3	410
4	7,48	27	4,16	17,93	218,8	310

Sumber: Hasil Analisis Laboratorium (2023)

Tabel 3. Data Kualitas Air Sungai Wonokromo Minggu ke-2

Pengambilan Sampel Air di Pagi Hari						
Titik Sampling	Parameter (mg/L)					
	pH	Suhu	DO	BOD ₅	COD	TSS
1	7,81	31	3,61	20,85	258	550
2	7,84	30	2,06	21,13	274	453
3	7,48	31	4,05	16,39	228	500
4	7,72	30	3,67	21,42	228,6	425

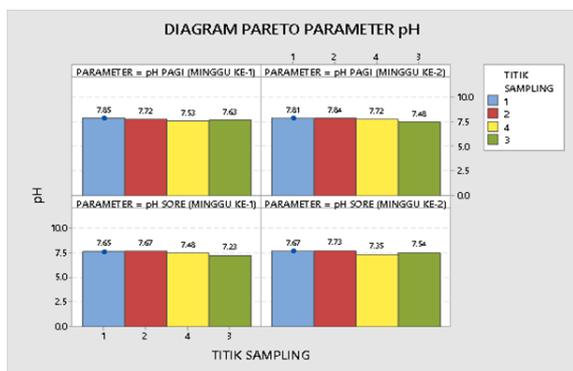
Pengambilan Sampel Air di Sore Hari

Titik Sampling	Parameter (mg/L)					
	pH	Suhu	DO	BOD ₅	COD	TSS
1	7,67	28,5	2,97	19,42	231,8	480
2	7,73	28	2,76	20,85	248	385
3	7,54	29	3,45	20,27	270	470
4	7,35	29	3,32	18,75	223	398

Sumber: Hasil Analisis Laboratorium (2023)

Dari tabel diatas dapat dijelaskan sebagai berikut:

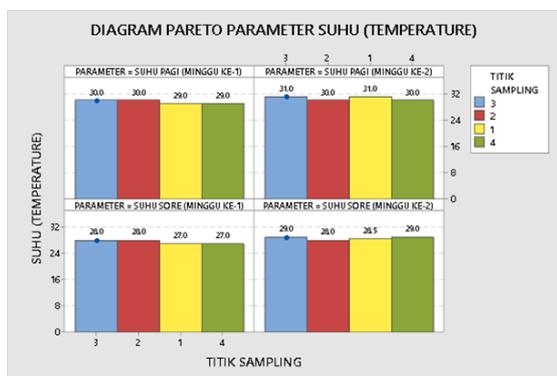
- 1) pH (Derajat Keasaman)



Gambar 3. Nilai pH Sungai Wonokromo

Berdasarkan Gambar 3 dan Tabel 1 serta 2, fluktuasi pH berkisar antara 7,23 hingga 7,85 pada masing-masing titik pengambilan sampel di setiap minggunya, yang artinya parameter pH tidak melampaui baku mutu sesuai PP No. 22 Tahun 2021 yaitu 6-9 atau dapat dikatakan telah memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan. Peningkatan pH pada minggu pertama dan kedua di setiap titik disebabkan oleh respirasi aktif biota air di siang hari. Menurut penelitian (Sucahyaning, 2020) proses dekomposisi bahan organik oleh bakteri dalam air dapat mengubah karbon menjadi CO₂ yang mana hal tersebut juga dapat meningkatkan nilai pH.

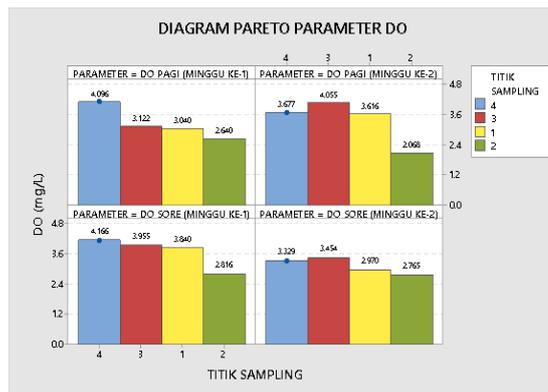
2) Suhu (Temperature)



Gambar 4. Nilai Suhu Sungai Wonokromo

Hasil pengukuran pada minggu pertama di titik 1 pagi hari adalah 29°C, sementara pada sore harinya adalah 27°C. Rentang hasil pengukuran di titik pemantauan 1 hingga 4 setiap minggunya jika dilihat dari diagram pareto berkisar antara 28-31°C. Suhu tertinggi mencapai 31°C yakni pada titik pemantauan ke-3. Hasil diatas masih dapat dikatakan mematuhi kriteria mutu air kelas II berdasarkan PP No.22 Tahun 2021, yang mengizinkan deviasi 3°C dari suhu alami. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian (Sucahyaning, 2020) bahwa suhu permukaan perairan biasanya berada pada kisaran 28-31°C yang masih mendukung kehidupan organisme akuatik.

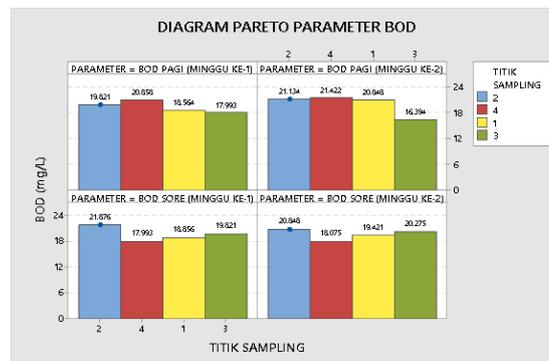
3) DO (Dissolved Oxygen)



Gambar 5. Nilai DO Sungai Wonokromo

Berdasarkan hasil diagram diatas, terdapat kenaikan nilai DO pada minggu pertama di titik 3-4, minggu kedua di titik 1 dan 3. Adanya kenaikan nilai DO pada titik sampel diduga diakibatkan dari resultan pencampuran air tawar dan air laut serta adanya pengaruh hujan deras. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Sucahyaning, 2020) bahwa salah satu faktor adanya kenaikan nilai DO diakibatkan oleh hujan dan pencampuran air tawar, serta adanya pengaruh angin yang mempengaruhi kecepatan arus. Apabila dilihat dari hasil uji dan diagram secara keseluruhan, titik parameter DO belum memenuhi baku mutu air kelas II.

4) BOD₅ (Biochemical Oxygen Demand)

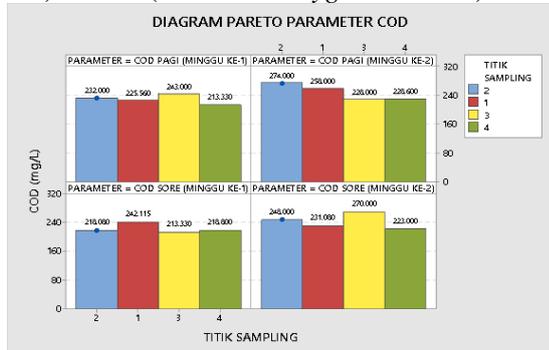


Gambar 6. Nilai BOD Sungai Wonokromo

Hasil pengujian laboratorium, menunjukkan distribusi nilai konsentrasi BOD adalah fluktuatif. Nilai baku mutu air kelas II untuk BOD adalah 3 mg/L. sehingga pada semua titik nilai BOD tidak memenuhi baku mutu air kelas II. Hasil analisis konsentrasi BOD dalam air sungai wonokromo selama dua minggu berkisar antara 16,39 - 21,87 mg/L. Peningkatan nilai BOD pada titik 2 dan 4 menggambarkan reaksi mikroorganisme terhadap bahan organik dari air limbah yang masuk ke dalam aliran sungai. Sedangkan jika nilai BOD

Wulandari, Bella Meitha, and Naniek Ratni J.A.R. 2024. "Analisis Pengendalian Kualitas Air Sungai Dengan Penerapan Metode Six Sigma (DMAIC): Studi Sungai Wonokromo Segmen Jl. Nginden Intan – Jl. Wonorejo". mengalami penurunan, maka dapat menunjukkan bahwa pada lokasi tersebut bahan polutan telah teroksidasi dengan baik dan mengindikasikan terjadinya peningkatan kadar oksigen (Wulansari & Karnaningroem, 2019).

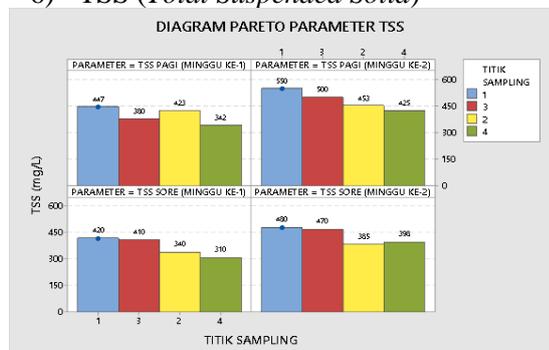
5) COD (Chemical Oxygen Demand)



Gambar 7. Nilai COD Sungai Wonokromo

Hasil pengujian laboratorium menunjukkan variasi konsentrasi COD yang fluktuatif. Baku mutu air kelas II menurut PP No. 22 Tahun 2021 untuk parameter COD adalah 25 mg/L. Hasil pengujian menunjukkan nilai COD berkisar antara 213,33 hingga 274 mg/L. Oleh karena itu, di semua titik pada setiap minggunya, nilai COD menunjukkan bahwa melebihi baku mutu air kelas II. Hal tersebut terjadi karena banyaknya sampah dan limbah yang masuk ke dalam perairan, sehingga mencemari aliran sungai. Menurut (Sucahyaning, 2020) apabila COD pada perairan tinggi dapat menyebabkan rendahnya keanekaragaman komunitas fitoplankton. Selain itu, tingginya nilai COD dalam perairan dapat menimbulkan nilai DO menurun. Hal tersebut disebabkan karena total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimia, baik yang terurai secara biologis maupun yang tidak tetap akan menjadi karbon dioksida (CO₂) dan air (H₂O) (Sucahyaning, 2020).

6) TSS (Total Suspended Solid)



Gambar 8. Nilai TSS Sungai Wonokromo

Dilihat dari gambar 8 diatas, menunjukkan fluktuasi nilai parameter padatan tersuspensi total

(TSS) pada masing-masing titik per minggu. Nilai baku mutu air kelas II sesuai PP No. 22 Tahun 2021 untuk parameter TSS adalah 50 mg/L, sedangkan hasil uji parameter TSS berkisar 310-550 mg/L. Sehingga semua titik nilai TSS tidak memenuhi baku mutu air kelas II. Peningkatan TSS disebabkan karena banyaknya air limbah domestik dari pemukiman yang masuk ke dalam sungai atau adanya pembuangan air limbah industri yang dilakukan pada saat penghujan. Sedangkan pada beberapa titik juga terjadi penurunan nilai TSS, hal ini terjadi karena berkurangnya laju aliran air sehingga sebagian TSS terendapkan dan debit aliran air berkurang (Wulansari & Karnaningroem, 2019).

Tahap Measure

Pada tahap kedua, akan dilakukan pengumpulan data digunakan untuk mengukur proses kinerja sebelum perbaikan. Langkah pertama yaitu menghitung nilai DPMO dan menentukan nilai level sigma sebagai berikut.

a) Menghitung DPU (Defects per Unit)

Dari hasil yang diperoleh, terdapat 4 parameter yang mengalami kegagalan dalam memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan. Sehingga dapat dihitung sebagai berikut:

- $DPU_{DO} = \frac{Total Cacat}{Total Sampel} = \frac{13}{16} = 0,81$
- $DPU_{BOD5} = \frac{Total Cacat}{Total Sampel} = \frac{16}{16} = 1$
- $DPU_{COD} = \frac{Total Cacat}{Total Sampel} = \frac{16}{16} = 1$
- $DPU_{TSS} = \frac{Total Cacat}{Total Sampel} = \frac{16}{16} = 1$

b) Menghitung DPO (Defects per Opportunities)

- $DPO_{DO} = \frac{DPU}{CTQ} = \frac{0,81}{6} = 0,135$
- $DPO_{BOD5} = \frac{DPU}{CTQ} = \frac{1}{6} = 0,166$
- $DPO_{COD} = \frac{DPU}{CTQ} = \frac{1}{6} = 0,166$
- $DPO_{TSS} = \frac{DPU}{CTQ} = \frac{1}{6} = 0,166$

c) Menghitung DPMO (Defects per Million Opportunity)

- $DPMO_{DO} = DPO \times 1.000.000$
 $= 0,135 \times 1.000.000$
 $= 135.000$
- $DPMO_{BOD5} = DPO \times 1.000.000$
 $= 0,166 \times 1.000.000$

$$= 166.000$$

- $DPMO_{COD} = DPO \times 1.000.000$
 $= 0,166 \times 1.000.000$
 $= 166.000$
- $DPMO_{TSS} = DPO \times 1.000.000$
 $= 0,166 \times 1.000.000$
 $= 166.000$

d) Menentukan Level Sigma

• **Level sigma DO**

$$\frac{x-x_1}{x_2-x_1} = \frac{y-y_1}{y_2-y_1}$$

$$\frac{135.000-130.300}{158.700-130.300} = \frac{y-2,625}{2,5-2,625}$$

$$\frac{4.700}{28.400} = \frac{y-2,625}{-0,125}$$

$$-587,5 = 28.400 y - 74.550$$

$$-28.400 y = 587,5 - 74.550$$

$$-28.400 y = -73962,5$$

$$Y = 2,604$$

• **Level sigma BOD₅**

$$\frac{x-x_1}{x_2-x_1} = \frac{y-y_1}{y_2-y_1}$$

$$\frac{166.000-158.700}{190.800-158.700} = \frac{y-2,5}{2,375-2,5}$$

$$\frac{7.300}{32.100} = \frac{y-2,5}{-0,125}$$

$$-912,5 = 32.100 y - 80.250$$

$$-32.100 y = 912,5 - 80.250$$

$$-32.100 y = -79337,5$$

$$Y = 2,471$$

• **Level sigma COD**

$$\frac{x-x_1}{x_2-x_1} = \frac{y-y_1}{y_2-y_1}$$

$$\frac{166.000-158.700}{190.800-158.700} = \frac{y-2,5}{2,375-2,5}$$

$$\frac{7.300}{32.100} = \frac{y-2,5}{-0,125}$$

$$-912,5 = 32.100 y - 80.250$$

$$-32.100 y = 912,5 - 80.250$$

$$-32.100 y = -79337,5$$

$$Y = 2,471$$

• **Level sigma TSS**

$$\frac{x-x_1}{x_2-x_1} = \frac{y-y_1}{y_2-y_1}$$

$$\frac{166.000-158.700}{190.800-158.700} = \frac{y-2,5}{2,375-2,5}$$

$$\frac{7.300}{32.100} = \frac{y-2,5}{-0,125}$$

$$-912,5 = 32.100 y - 80.250$$

$$-32.100 y = 912,5 - 80.250$$

$$-32.100 y = -79337,5$$

$$Y = 2,471$$

Dari perhitungan level sigma untuk setiap parameter, diperoleh rata-rata level sigma pada sungai wonokromo (Segmen Nginden Intan – Jl. Wonorejo) sebesar **2,625**. Hal ini menunjukkan bahwa status kualitas air sungai wonokromo masih dikatakan buruk dan masih terdapat sedikit kecacatan, namun terdapat sedikit perbaikan. Untuk mencapai standar mutu air kelas II, maka tingkat sigma pada sungai wonokromo seharusnya berada pada angka 6, dimana untuk mencapai level 6 sigma, presentase parameter yang tidak memenuhi standar mutu air kelas II adalah 0,00034% dari total parameter yang di ukur. Berikut adalah rekapitulasi perhitungan DPMO.

Tabel 4. Rekapitulasi Perhitungan DPMO dan Level Sigma

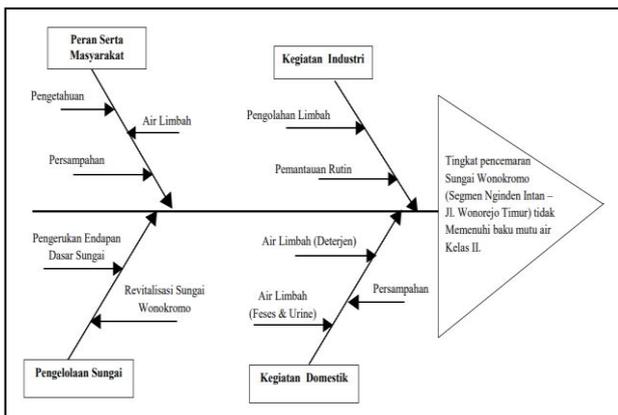
Sampel	Parameter (mg/L)					
	pH	Suhu	DO	BOD ₅	COD	TSS
1	7,85	29	3,04	18,56	225,5	447
2	7,72	30	2,64	19,82	232	423
3	7,63	30	3,12	17,93	243	380
4	7,53	29	4,09	20,85	213,3	342
5	7,65	27	3,84	18,85	242,5	420
6	7,67	28	2,81	21,87	218,8	340
7	7,23	28	3,95	19,82	213,3	410
8	7,48	27	4,16	17,93	218,8	310
9	7,81	31	3,61	20,85	258	550
10	7,84	30	2,06	21,13	274	453
11	7,48	31	4,05	16,39	228	500
12	7,72	30	3,66	21,42	228,6	425
13	7,67	28,5	2,97	19,42	231,8	480
14	7,73	28	2,76	20,84	248	385
15	7,54	29	3,45	20,27	270	470
16	7,35	29	3,32	18,07	223	398
Total	-	-	13	16	16	16
DPU	-	-	0,81	1	1	1

DPO	-	-	0,13 5	0,166	0,166	0,16 6
DPMO	-	-	135. 000	166.0 00	166.0 00	166. 000
Sigma	5	5	2,60 4	2,471	2,471	2,47 1

Sumber: Hasil Perhitungan (2023)

Tahap Analyze

Tahap ini merupakan langkah operasional ketiga dalam siklus metode *Six Sigma* DMAIC. Dimana pada tahap ini, dilakukan analisis hasil pengukuran yang telah dikumpulkan pada langkah sebelumnya dan mencari korelasi di antara data tersebut untuk mengidentifikasi akar penyebab dari kegagalan (cacat). Dalam penelitian ini, diagram *fishbone* (tulang ikan) dipilih untuk memudahkan identifikasi penyebab-penyebab kegagalan (cacat) dalam mencapai baku mutu air kelas II di Sungai Wonokromo (Segmen Jl. Nginden Intan – Jl. Wonorejo). Adapun ilustrasi diagram *fishbone* dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 9. Ilustrasi Diagram *Fishbone*

Pada gambar diatas, dihasilkan pengamatan permasalahan di lokasi penelitian sepanjang sungai wonokromo (Segmen Jl. Nginden Intan – Jl. Wonorejo) yang jika diuraikan sebagai berikut:

1. Kegiatan Industri

- **Pengelolaan Air Limbah Industri**
Salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat pencemaran sungai Wonokromo adalah limbah industri. Sebagian besar produsen bahan pencemar masih belum efektif dalam mengelola limbah industri mereka sendiri.
- **Sistem Pemantauan Rutin**
Pelaku usaha diwajibkan untuk secara berkala memonitor kualitas air limbah yang dihasilkan dari proses produksi agar dapat membantu dalam mengurangi pencemaran pada sekitar sungai. Tetapi,

2. Kegiatan Domestik

- **Pencemaran Air Limbah**
Pencemaran dapat menghambat transfer oksigen dan mengganggu proses penguraian limbah di dalam perairan. Dampak pencemaran tersebut mengakibatkan penurunan kualitas air di perairan seperti munculnya bau yang tidak sedap di sekitaran perairan. Selain itu, pembuangan limbah domestik feses dan *urine* yang secara langsung dibuang ke sungai termasuk pencemaran. Aktivitas masyarakat ditepian sungai yang membuang limbah secara langsung ke sungai juga menyebabkan peningkatan bakteri *coliform* yang mencemari air. *Feses* termasuk dalam limbah organik yang berkontribusi pada peningkatan nilai BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) di dalam air sungai.

- **Pencemaran Sungai Akibat Sampah**
Pada kondisi saat ini masih terdapat jumlah sampah yang cukup signifikan di Sungai Wonokromo (Segmen Nginden Intan – Jl. Wonorejo). Mayoritas jenis sampah yang ditemukan di sungai ini meliputi sampah plastik, dedaunan kering, sisa makanan, styrofoam, popok bayi, dan lain sebagainya. Pembuangan sampah organik yang masuk ke dalam sungai dapat berkontribusi meningkatkan nilai BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) di perairan sungai. Sedangkan sampah anorganik yang mengapung dapat menghalangi cahaya matahari yang masuk kedalam sungai, serta mengganggu proses fotosintesis.

3. Pengelolaan Sungai

- **Revitalisasi Sungai Wonokromo**
Salah satu strategi yang akan dilakukan dalam upaya revitalisasi Sungai Wonokromo adalah penciptaan ruang terbuka hijau baru disepanjang kawasan Sungai Wonokromo. Langkah tersebut sejalan dengan panduan yang diuraikan dalam dokumen Rencana Tata Ruang Wilayah (RTW) Kota Surabaya tahun

2013, yang menunjukkan arahan dari pemerintah untuk menjadikan kawasan yang telah ditertibkan dari bangunan liar sebagai wilayah yang dapat digunakan untuk berbagai fasilitas publik seperti taman kota, area bermain anak, lapangan olahraga, dan lain sebagainya.

- **Kegiatan Pengerukan Endapan**
Meskipun pemerintah telah merancang program pengerukan sungai, namun di Sungai Wonokromo tampaknya masih perlu melakukan pengerukan secara berkala, karena terdapat penyebab karena kecepatan proses pengendapan sungai yang cukup signifikan. Proses pengendapan sungai terjadi ketika partikel padatan terbawa oleh aliran sungai yang mengendap ke dasar sungai. Beberapa faktor yang berkontribusi terhadap pendangkalan sungai mencakup pembuangan sampah rumah tangga yang secara langsung ke sungai.

4. Peran Serta Masyarakat

- **Pengetahuan Masyarakat**
Pengetahuan masyarakat mencakup variabel yang tidak terukur pada suatu penelitian. Dalam konteks penelitian ini, pengetahuan mencakup pemahaman masyarakat tentang kebijakan lingkungan yang berlaku, serta kesadaran akan tanggungjawab masyarakat terhadap kebersihan lingkungan disekitar tempat tinggal mereka.
- **Pengelolaan Air Limbah**
Kebiasaan masyarakat dalam mengelola air limbah yang dihasilkan dari aktivitas sehari-hari seperti kegiatan MCK memiliki dampak yang cukup besar terhadap kualitas air sungai di segmen penelitian. Aspek-aspek yang termasuk dalam indikator ini mencakup pembuangan tinja secara langsung oleh masyarakat, praktik penggunaan kembali air bekas untuk keperluan lain sebelum dibuang, dan pemanfaatan air sungai secara langsung, baik untuk keperluan MCK atau tujuan lainnya.
- **Pengelolaan Persampahan**
Tindakan yang berhubungan dengan pengelolaan sampah merupakan aspek yang sangat krusial untuk diperhatikan, mengingat potensi masalah yang dapat muncul apabila sampah tidak dikelola

dengan baik dan menumpuk. Dalam konteks ini, penting untuk memahami perilaku masyarakat terkait pembuangan sampah dan bagaimana sampah dikelola di lingkungan tempat tinggal masyarakat.

Tahap *Improve*

Pada tahap ini, sebuah rencana tindakan diterapkan untuk meningkatkan kualitas dalam kerangka metode Six Sigma. Setelah akar masalah diidentifikasi pada tahap sebelumnya, rekomendadi tindakan perbaikan secara umum di usulkan untuk mengurangi tingkat kecacatan. Tahap *improve* bertujuan untuk memperbaiki target proses dengan merancang solusi kreatif yang dapat mengatasi dan mencegah masalah. Solusi yang diajukan dapat dilihat pada tabel 5 dibawah ini:

Tabel 5. Tahap *Improve* (Perbaikan)

Aspek	Permasalahan	Solusi	Keterangan
Kegiatan Industri	Pengelolaan air limbah industri yang tidak tepat	Melakukan implementasi sistem pengolahan air limbah yang lebih efektif	Mengintegrasikan teknologi pengolahan air limbah yang sesuai dengan jenis industri, mencakup tahapan pengumpulan, pemisahan, dan pengolahan sebelum dibuang ke badan air sungai
	Kurangnya sistem pemantauan rutin	Melakukan atau menerapkan program pemantauan air limbah industri secara rutin dan sistem pelaporan yang transparan	Mengatur jadwal pemantauan secara berkala terhadap kualitas air limbah industri dan mengidentifikasi perubahan secara signifikan
	Kurangnya regulasi dan penegakan hukum	Penguatan regulasi lingkungan dan penegakan hukum yang tegas	Mencegah pelanggaran dan merespon dengan tindakan hukum
Kegiatan Domestik	Pembuangan air limbah <i>feses</i> dan <i>urine</i>	Penggunaan toilet dengan sistem pengolahan septic tank atau sanitasi yang tepat	Mendorong penggunaan toilet dengan sistem pengolahan limbah atau sanitasi yang sesuai untuk menghindari pembuangan langsung ke sungai

Peran Serta Masyarakat	Pembuangan sampah sembarangan	Kampanye kesadaran lingkungan dan pengelolaan sampah	Melakukan kampanye edukasi kepada masyarakat tentang pentingnya pengelolaan sampah yang baik dan memfasilitasi penyediaan tempat sampah yang cukup	endapan dasar pengerukan sungai teratur dan terjadwal dengan mengidentifikasi terlebih dahulu karakteristik sungai dengan melihat debit, pasang surut air sungai, dan analisa sedimen
	Kurangnya fasilitas pengelolaan sampah	Membangun tempat pembuangan sampah yang tepat	Membuat tempat pembuangan sampah yang terkelola dengan baik,	
	Rendahnya pengetahuan masyarakat tentang pencemaran sungai	Membuat program edukasi lingkungan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pencemaran sungai	Meningkatkan kesadaran masyarakat tentang dampak berbahaya pencemaran sungai dan melakukan edukasi tentang pentingnya menjaga kualitas air sungai dan dampak buruk dari pencemaran sungai	
Pengelolaan Sungai	Pembuangan air limbah rumah tangga	Sistem penyaringan air limbah rumah tangga	Menggunakan sistem penyaringan air limbah rumah tangga sebelum dibuang ke sungai untuk mengurangi kontaminan	Sumber: Hasil Penelitian Penulis (2023)
	Tidak adanya partisipasi dalam program pengelolaan	Pembentukan kelompok peduli lingkungan	Membentuk kelompok peduli lingkungan yang aktif dalam program pengelolaan dan pembersihan pinggiran sungai	
	Pengawasan terhadap aktivitas industri sekitar sungai	Pembentukan badan pengawas dan penegakan AMDAL, RKL-RPL dan dokumen lingkungan lainnya pada bangunan disepanjang sungai	Segala pembangunan harus memiliki dokumen lingkungan berupa amdal, rl-rpl dan memenuhi semua yang tercantum didalamnya agar kualitas sungai dapat tetap terjaga meskipun ada sedikit beban pencemar yang masuk kedalam sungai	
	Pemanfaatan teknologi monitoring	Penerapan teknologi sensor dan pemantauan jarak jauh yang telah dikembangkan oleh BPPT	Memanfaatkan teknologi sensor dan pemantauan jarak jauh untuk mengawasi kualitas air sungai secara real-time dan sistem software	
	Pendangkalan sungai dan	Penjadwalan	Melakukan program pengerukan secara	

Tahap Control

Tahap akhir dalam metode *Six Sigma* adalah tahap *control*. Pada tahap ini ditentukan perencanaan kontrol yang akan diterapkan saat solusi yang telah dikembangkan pada tahap sebelumnya (*improve*) dijalankan. Tujuan utama tahap ini adalah memastikan bahwa solusi yang telah diimplementasikan dapat berfungsi dengan baik dan mengawasi hasilnya untuk memastikan efektivitasnya. Rincian mengenai tahap *control* dapat dilihat dalam tabel 6 dibawah ini:

Tabel 6. Tahap Control

Solusi	Tahap Control
Melakukan implementasi sistem pengolahan air limbah yang lebih efektif	Memantau kinerja sistem pengolahan secara berkala dan melakukan uji kualitas air limbah sebelum dan sesudah dilakukan pengolahan
Melakukan atau menerapkan program pemantauan air limbah industri secara rutin dan sistem pelaporan yang transparan	Menyusun jadwal pemantauan dan evaluasi berkala dengan menerbitkan laporan pemantauan yang dapat diakses publik
Penguatan regulasi lingkungan dan penegakan hukum yang tegas	Memperkuat peraturan terkait lingkungan dan mengaktifkan badan pengawas lingkungan yang memiliki wewenang penegakan hukum
Penggunaan toilet dengan sistem pengolahan septic tank atau sanitasi yang tepat	Menginformasikan kepada masyarakat tentang sanitasi yang sesuai dan menyediakan akses ke fasilitas sanitasi yang baik
Kampanye kesadaran lingkungan dan pengelolaan sampah	Menyelenggarakan kampanye edukasi secara berkala dengan melibatkan masyarakat secara langsung dalam program pembersihan dan pengelolaan sampah

Membangun tempat pembuangan sampah yang tepat	Menyusun rencana tata letak tempat pembuangan sampah dan memastikan adanya pengumpulan dan pengelolaan sampah yang teratur dan rutin
Membuat program edukasi lingkungan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pencemaran sungai	Merancang strategi program edukasi yang komprehensif dengan melibatkan sekolah, komunitas, dan lembaga terkait dalam penyelenggaraan program
Sistem penyaringan air limbah rumah tangga	Memastikan instalasi dan pemeliharaan sistem penyaringan dengan mengadakan pelatihan penggunaan sistem kepada penduduk
Pembentukan kelompok peduli lingkungan	Mengidentifikasi potensi anggota kelompok peduli lingkungan dengan menetapkan tujuan dan program kerja kelompok yang akan di jalankan
Pembentukan badan pengawas dan penegakan AMDAL, RKL-RPL dan dokumen lingkungan lainnya pada bangunan disepanjang sungai	Melakukan pengecekan pada setiap pembangunan yang ada disekitar sungai dengan menetapkan struktur dan kewenangan badan pengawas serta menerapkan sistem audit dan penegakan hukum yang berlaku
Penerapan teknologi sensor dan pemantauan jarak jauh yang telah dikembangkan oleh BPPT	Melakukan pengecekan dan perawatan pada alat yang digunakan dengan berkolaborasi dengan lembaga terkait dalam pengelolaan data
Penjadwalan pengerukan sungai	Melakukan penetapan jadwal pengerukan dengan melakukan identifikasi karakteristik sungai yang meliputi debit, pasang surut air, dan menyusun rencana jangka panjang pengerukan sungai dengan mengkoordinasikan dengan pihak terkait

Sumber: Hasil Penelitian Penulis (2023)

4 PENUTUP

Berdasarkan penelitian secara keseluruhan, diperoleh hasil perhitungan nilai level sigma untuk tiap parameter yakni, DO berada pada angka 2,604. Sedangkan untuk parameter BOD, COD, dan TSS berada di angka sigma 2,471. Sehingga jika di rata-rata level sigma pada sungai

wonokromo ialah 2,625. Penyebab utama dalam penurunan kualitas air sungai wonokromo dilandasi oleh beberapa kegiatan seperti aktivitas domestik, industri, dan cara mengelola air sungai. Untuk meningkatkan nilai sigma, maka dapat diusulkan perbaikan atau saolusi yang bisa diimplementasikan secara langsung. Seperti melakukan penertiban bangunan liar disekitar sungai, pengerukan endapan sungai secara rutin dan terjadwal, dan melakukan penegakan hukum sesuai peraturan yang berlaku.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada masyarakat sekitar bantaran sungai wonokromo, pekerja dinas pemerintah, dosen pembimbing dalam penelitian, serta rekan-rekan yang telah membantu dalam proses penyelesaian penelitian dari awal hingga akhir. Ucapan terima kasih juga diberikan kepada pihak lain yang telah berkontribusi secara penuh yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

DAFTAR PUSTAKA

- Anisa Rosyidasari, & Iftadi, I. (2020). Implementasi Six Sigma dalam Pengendalian Kualitas Produk Refined Bleached Deodorized Palm Oil. *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*, 6(2), 113–122. <https://doi.org/10.30656/intech.v6i2.2420>
- Dawud, M., Namara, I., Chayati, N., & Taqwa, F. M. L. (2016). Analisis Sistem Pengendalian Pencemaran Air Sungai Cisadane Kota Tangerang Berbasis Masyarakat. *Semnastek*, 6 (November), 1–8. <https://media.neliti.com/media/publications/173218-ID-analisis-sistem-pengendalian-pencemaran.pdf>
- Izzah, N., & Rozi, M. F. (2019). Analisis Pengendalian Kualitas Dengan Metode Six Sigma-Dmaic Dalam Upaya Mengurangi Kecacatan Produk Rebana Pada Ukm Alfiya Rebana Gresik. *Jurnal Ilmiah Soulmath: Jurnal Edukasi Pendidikan Matematika*, 7(1), 13–26. <https://doi.org/10.25139/smj.v7i1.1234>
- Mawaddati, I., Munfarida, I., & Hakim, A. (2021). Evaluasi Daya Tampung Beban Pencemaran Air Sungai Wonokromo (Kali Jagir) Kota Surabaya. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 7(1), 33–43. <http://journalsaintek.uinsby.ac.id/index.php/lard/index>

Wulandari, Bella Meitha, and Naniek Ratni J.A.R. 2024. "Analisis Pengendalian Kualitas Air Sungai Dengan Penerapan Metode Six Sigma (DMAIC): Studi Sungai Wonokromo Segmen Jl. Nginden Intan – Jl. Wonorejo".

[Pemda] Surabaya Pemerintah Daerah Kota Surabaya. 2010. Peraturan Daerah Kota Surabaya tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah Kota Surabaya Tahun 2016-2021. Surabaya (ID): Sekretaris Daerah Kota Surabaya.

[Pemda] Surabaya Pemerintah Daerah Kota Surabaya. 2014. Peraturan Daerah Kota Surabaya Nomor 12 Tahun 2014 tentang Rencana Tata Ruang dan Wilayah Kota Surabaya Tahun 2014-2034. Surabaya (ID): Sekretaris Daerah Kota Surabaya.

Purnamasari, D. E. (2017). Penentuan status mutu air Kali Wonokromo dengan metode storet dan indeks pencemar. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 1–138.

Rimantho, D., & Mariani, D. M. (2017). Penerapan Metode Six Sigma Pada Pengendalian Kualitas Air Baku Pada Produksi Makanan. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 16(1), 1. <https://doi.org/10.23917/jiti.v16i1.2283>

Sucahyaning, W. T. (2020). Tinjauan Keanekaragaman Fitoplankton Sebagai Bioindikator Kualitas Air di Perairan Pantai Timur Surabaya. UPN "Veteran" Jawa Timur.

Wulansari, I. T., & Karnaningroem, N. (2019). Study of the Application of the RCA and Six Sigma Method for Quality of the Kalimas River in Surabaya (Prestasi Park-Petekan Bridge Segment). *IPTEK Journal of Proceedings Series*, 0(5), 161. <https://doi.org/10.12962/j23546026.y2019i5.6295>