



TUGAS AKHIR -RE 184804

# ANALISIS DAYA TAMPUNG PENCEMARAN PADA KALI WONOKROMO KOTA SURABAYA DENGAN METODE PERMODELAN SISTEM DINAMIK

FILIAL DHIYA THIFALINA  
0321154000027

DOSEN PEMBIMBING:  
Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.

Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2020



**TUGAS AKHIR -RE 184804**

**ANALISIS DAYA TAMPUNG PENCEMARAN  
PADA KALI WONOKROMO KOTA SURABAYA  
DENGAN METODE PERMODELAN SISTEM  
DINAMIK**

FILIAL DHIYA THIFALINA  
0321154000027

DOSEN PEMBIMBING:  
Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.

Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2020



FINAL PROJECT - RE 184804

## **ANALYSIS POLLUTION CAPACITY OF KALI WONOKROMO IN SURABAYA USING DYNAMIC SYSTEM METHOD**

FILIAL DHIYA THIFALINA  
NRP. 0321154000027

Mentor Lecture :  
Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.

Department of Environmental Engineering  
Faculty of Civil Planning and GeoEngineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2020

## LEMBAR PENGESAHAN

**Analisis Daya Tampung Pencemaran Pada Kali Wonokromo  
Kota Surabaya Dengan Motode Permodelan Sistem Dinamik**

### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik

Pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Oleh:

**FILIAL DHIYA THIFALINA**

NRP. 03211540000027

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.

NIP. 19550128 198503 2 001



# **ANALISA DAYA TAMPUNG PENCEMARAN PADA KALI WONOKROMO KOTA SURABAYA DENGAN METODE PERMODELAN SISTEM DINAMIK**

Nama : FILIAL DHIYA THIFALINA  
NRP : 0321154000027  
Departemen : Teknik Lingkungan  
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.

## **ABSTRAK**

Pada saat ini masyarakat sering mengalami kesulitan dalam memperoleh air bersih dan air minum untuk memenuhi kebutuhan sehari-harinya (lebih dikenal dengan krisis air), disebabkan oleh peningkatan jumlah industri, pertumbuhan penduduk dan lain-lain. Pada Kali Wonokromo berpotensi mengandung polutan yang tinggi karena adanya buangan limbah yang belum terolah secara efisien. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung dan menganalisis daya tampung beban pencemaran di air sungai yang disebabkan oleh parameter pencemaran yaitu TSS, BOD, COD, DO, amonia, fosfat dan deterjen.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Sistem Dinamik dengan menggunakan program STELLA untuk mengetahui keterkaitan antar parameter yang berada di air sungai, serta menentukan besar beban pencemaran pada Kali Wonokromo. Penelitian ini menggunakan data analisa lapangan, kemudian data dimasukkan ke dalam formulasi model yang telah dibuat, model di uji dengan program STELLA untuk verifikasi, validasi dan simulasi data. Dari hasil simulasi model akan dibuat skenario untuk memperbaiki kualitas air sungai yang telah tercemar.

Hasil dari penelitian ini adalah prediksi nilai parameter beban pencemar Kali Wonokromo selama satu tahun kedepan. Diketahui nilai tiap parameter pencemar mengalami peningkatan dan penurunan kualitas air yang berbeda-beda. Hasil nilai kualitas air pada Kali Wonokromo dengan parameter TSS adalah 26,34 mg/L, parameter DO adalah 4,79 mg/L, parameter BOD adalah 6,98 mg/L, parameter COD adalah 14,18 mg/L, parameter amonia adalah 5,87 mg/L, parameter fosfat 2,77 mg/L, dan

parameter deterjen 381,11 ug/L. Nilai parameter DO, BOD, fosfat dan deterjen melebihi baku mutu yang telah ditentukan sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air. Maka pada Kali Wonokromo sudah tidak memiliki daya tampung berlebih untuk parameter yang melebihi baku mutu.

**Kata Kunci: Kualitas Air Sungai, Kali Wonokromo, Sistem Dinamik, STELLA.**

## **ANALYSIS POLLUTION CAPACITY OF KALI WONOKROMO IN SURABAYA CITY USING DYNAMIC SYSTEM METHOD**

Name : FILIAL DHIYA THIFALINA

Student Number : 0321154000027

Departement : Teknik Lingkungan

Mentor Lecture : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.

Currently the community often has difficulty in get a clean water to meet their daily needs (known as the water crisis), caused by an increase in the number of industries, population growth and others. In the Wonokromo River, it has the potential to contain high pollutants due to waste disposal that hasn't been treated efficiently. The goal in study is calculate and analyze the load capacity of pollution in river water caused by pollution parameters, namely TSS, BOD, COD, DO, ammonia, phosphate and detergent.

The method used in this study is the Dynamic System method using the STELLA program to determine the relationship between parameters in the river and determining amount of pollution load in the Wonokromo River. This study uses field analysis data, then the data entered into the model formulation that has been made, the model is tested with the STELLA program for verification, validation and simulation data. From the model simulation, we can made a scenario to improve the quality of polluted river water.

The results of this study are parameter estimation values of Kali Wonokromo pollutants for one year. It's known that the value of each pollutant parameter have an increases and decrease in different water quality every. The results a water quality of Wonokromo river an TSS parameter 26,34 mg/L, DO parameter adalah 4,79 mg/L, BOD parameter adalah 6,98 mg/L, COD parameter adalah 14,18, ammonia parameter adalah 5,87 mg/L, phosphate parameter 2,77 mg/L, dan detergent parameter 381,11 ug/L. The DO, BOD, phosphate and detergent parameters values exceed the quality standards that have been determined in accord from Government Regulation No.82 of 2001 about water management and water pollution control. So in Wonokromo River, there is no excess capacity for parameters that exceed the quality standard.

**Key Word :Water River Quality,Wonokromo River, Dynamic System Method, STELLA.**

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr Wb

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua, khususnya pada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Analisis Daya Tampung Pencemaran Pada Kali Wonokromo Kota Surabaya Dengan Metode Permodelan Sistem Dinamik”**. Laporan ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan dari mata kuliah “Tugas Akhir (TA)” yang mempunyai bobot 6 sks dan harus ditempuh oleh setiap mahasiswa Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih atas bimbingan, saran dan kesabarannya dalam penyusunan Tugas Akhir ini,
2. Bapak Prof. Ir. Wahyono Hadi, M.Sc., Ph.D., Ibu Ir. Atiek Moesriati, M.Kes., dan Bapak Adhi Yuniarto S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pengarah,
3. Bapak Welly Herumurti, ST., M.Sc. dan Ibu Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T., Ph.D. selaku koordinator Tugas Akhir, terima kasih atas segala ilmu dan saran yang telah diberikan,
4. Bapak Dr.Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T., MEPM. selaku kepala Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan,
5. Bapak Edy Pratikto selaku karyawan Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan yang telah membantu, membimbing dan memfasilitasi penulis selama penelitian,
6. Teman-teman Teknik lingkungan Angkatan 2015 dan Angkatan 2016, yang telah membantumenyelesaikanstudiini.

7. Teman-teman terbaik saya Ivva, Robiatul, Firlianda, Neneng, Pingky, Firly, Edo, Renaldy, Savana, Dewa, Yoga dan Regi yang selalu mendoakan, mendukung dan menghibur.
8. Teman-teman seperjuangan Tugas Akhir Rodhika, Bagas, Misel, Valianto dan Raka yang selalu menemani, membantu dan mendukung.
9. Adityo Rohman Hafid S, yang selalu mendoakan, sabar menemani dan mendukung agar tugas ini selesai dengan baik.

Penyusun mengucapkan terima kasih kepada orang tua dan kakak yang sudah memberi dukungan baik secara moral dan materi. Penyusunan tugas akhir ini telah diusahakan semaksimal mungkin, namun sebagaimana manusia, penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat kami harapkan.  
Wassalamu'alaikum Wr Wb

Surabaya, Januari 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	<b>i</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan.....	3
1.4. Ruang Lingkup .....	4
1.5. Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1. Kualitas Sungai.....	5
2.1.1.Total Suspended Solid (TSS) .....	9
2.1.2. Biological Oxygen Demand (BOD) .....	10
2.1.3. Chemical Oxygen Demand (COD) .....	10
2.1.4. Dissolved Oxygen (DO) .....	10
2.1.5. Senyawa Fosfat.....	11
2.1.6. Senyawa Amonia (NH <sub>3</sub> ).....	12
2.1.7. Deterjen .....	12
2.2. Nilai Konstanta Sungai .....	12
2.3. Pendekatan Sistem Dinamik .....	13
2.4. Indeks Pencemaran (IP) .....	14
2.5. Analisa Daya Tampung .....	15
2.6. Kajian Terdahulu .....	15

<b>BAB 3. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>17</b>
3.1. Tahapan Penelitian .....	17
3.2. Kerangka Penelitian.....	17
3.2.1. Ide Penelitian .....	17
3.2.2. Studi Literatur .....	25
3.2.3. Pengumpulan Data .....	25
3.3. Analisa Data dan Laboratorium .....	29
3.4. Hasil dan Pengukuran .....	33
3.5. Kesimpulan dan Saran .....	40
<b>BAB 4. HASIL dan PEMBAHASAN .....</b>	<b>41</b>
4.1. Segmentasi Kali Wonokromo .....	41
4.1.1. Segmen 1 (Titik A – Titik B) .....	45
4.1.2. Segmen 2 (Titik B – Titik C) .....	49
4.1.3. Segmen 3 (Titik C – Titik D) .....	53
4.1.4. Segmen 4 (Titik D – Titik E) .....	57
4.1.5. Segmen 5 (Titik E – Titik F) .....	61
4.2. Pembuatan Formulasi Model .....	66
4.2.1. Pembuatan Struktur Model .....	69
4.2.2. Diagram Casual Loop .....	69
4.3. Aspek Teknis Model .....	73
4.4. Running Model .....	82
4.4.1. Verifikasi Model .....	82
4.4.2. Validasi Model .....	84
4.5. Simulasi Model .....	85
4.5.1. Penentuan Status Mutu Air .....	93
4.6. Analisa Daya Tampung .....	95
4.7. Skenario Penanggulangan Model .....	101

<b>BAB 5. KESIMPULAN dan SARAN.....</b>	<b>103</b>
5.1. Kesimpulan .....	103
5.2. Saran .....	103
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>105</b>
<b>LAMPIRAN I.....</b>	<b>109</b>
<b>LAMPIRAN II.....</b>	<b>115</b>
<b>LAMPIRAN III.....</b>	<b>121</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS .....</b>	<b>127</b>

“ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan ”

## DAFTAR TABEL

<b>ABSTRAK</b> .....	<b>i</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
Tabel 2.1. Kriteria mutu kualitas air berdasarkan kelas .....	7
Tabel 2.2. Klasifikasi Tingkat Pencemaran dari Limbah Domestik Berdasarkan Beberapa Parameter Kualitas Air .....	8
Tabel 2.3. Baku Mutu Air Limbah Domestik .....	8
Tabel 2.4. Baku Mutu Air LimbahUsaha Dan/Kegiatan Laundry .....	9
Tabel 2.5. Kriteria Kualitas Air Berdasarkan Nilai BOD ...	10
Tabel 2.6. Kriteria Kualitas Air Berdasarkan Nilai DO .....	11
Tabel 2.7. Nilai Konstanta Dalam Model .....	13
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b> .....	<b>17</b>
<b>BAB 4. HASIL dan PEMBAHASAN</b> .....	<b>41</b>
Tabel 4.1. Sumber Pencemar Kali Wonokromo .....	41
Tabel 4.2. Hasil Analisa Kualitas Air Kali Wonokromo .....	65
Tabel 4.3. Identifikasi Variabel Terkait Model .....	67
Tabel 4.4. Identifikasi Varriabel Terkait Model .....	68
Tabel 4.5. Data Nilai Input Pada Model .....	73
Tabel 4.5. Data Nilai Input Pada Model .....	71

Tabel 4.6. Nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE) Pada Model .....	85
Tabel 4.7. Data Hasil Simulasi .....	93
Tabel 4.8. Hasil Nilai Indeks Pencemaran .....	94
Tabel 4.8. Hasil Daya Tampung Beban Pencemar .....	96
<b>BAB 5. KESIMPULAN dan SARAN .....</b>	<b>103</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>105</b>
<b>LAMPIRAN I .....</b>	<b>109</b>
<b>LAMPIRAN II .....</b>	<b>115</b>
<b>LAMPIRAN III .....</b>	<b>121</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS .....</b>	<b>127</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>ABSTRAK</b> .....	<b>i</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b> .....	<b>17</b>
Gambar 3.1. Aliran Sungai Surabaya .....	19
Gambar 3.2. Aliran Sungai Surabaya Segmen Kali Wonokromo .....	21
Gambar 3.3. Kerangka Penelitian .....	23
Gambar 3.4. Titik Sampling Air Sungai .....	27
Gambar 3.5. Contoh Diagram Casual Loop .....	35
Gambar 3.6. Contoh Diagram Stock and Flow .....	37
Gambar 3.7. Contoh Formulasi Model .....	39
<b>BAB 4. HASIL dan PEMBAHASAN</b> .....	<b>41</b>
Gambar 4.1. Segmen Kali Wonokromo .....	43
Gambar 4.2. Kondisi Eksisting Sungai Segmen 1 .....	45
Gambar 4.3. Segmen Kali Wonokromo 1 .....	47
Gambar 4.4. Kondisi Eksisting Sungai Segmen 2 .....	49
Gambar 4.5. Segmen Kali Wonokromo 2 .....	51
Gambar 4.6. Kondisi Eksisting Sungai Segmen 3 .....	53
Gambar 4.7. Segmen Kali Wonokromo 3 .....	55
Gambar 4.8. Kondisi Eksisting Sungai Segmen 4 .....	57

Gambar 4.9. Segmen Kali Wonokromo 4 .....	59
Gambar 4.10. Kondisi Eksisting Sungai Segmen 4 .....	61
Gambar 4.11. Segmen Kali Wonokromo 5 .....	63
Gambar 4.12. Grafik Kualitas Air Kali Wonokromo .....	65
Gambar 4.13. Diagram Casual Loop .....	71
Gambar 4.14. Aspek Teknis Antar Parameter DO, BOD dan COD .....	75
Gambar 4.15. Aspek Teknis Antar Parameter Amonia.....	77
Gambar 4.16. Aspek Teknis Antar Parameter Fosfat .....	77
Gambar 4.17. Aspek Teknis Antar Parameter TSS .....	79
Gambar 4.18. Aspek Teknis Antar Parameter Deterjen ...	79
Gambar 4.19. Hasil Verifikasi Model.....	83
Gambar 4.20. Hasil Verifikasi Model.....	83
Gambar 4.21. Grafik Hasil Analisis Model Parameter TSS .....	86
Gambar 4.22. Grafik Hasil Analisis Model Parameter DO .....	87
Gambar 4.23. Grafik Hasil Analisis Model Parameter BOD .....	88
Gambar 4.24. Grafik Hasil Analisis Model Parameter COD .....	89
Gambar 4.25. Grafik Hasil Analisis Model Parameter Amonia.....	90
Gambar 4.26. Grafik Hasil Analisis Model Parameter Fosfat.....	91
Gambar 4.27. Grafik Hasil Analisis Model Parameter Deterjen .....	92
Gambar 4.28. Grafik Perbandingan Daya Tampung Parameter TSS .....	96

Gambar 4.29. Grafik Perbandingan Daya Tampung Parameter DO .....	97
Gambar 4.30. Grafik Perbandingan Daya Tampung Parameter BOD .....	98
Gambar 4.31. Grafik Perbandingan Daya Tampung Parameter COD .....	98
Gambar 4.32. Grafik Perbandingan Daya Tampung Parameter Amonia .....	99
Gambar 4.33. Grafik Perbandingan Daya Tampung Parameter Fosfat .....	100
Gambar 4.34. Grafik Perbandingan Daya Tampung Parameter Deterjen .....	100
<b>BAB 5. KESIMPULAN dan SARAN .....</b>	<b>103</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>105</b>
<b>LAMPIRAN I .....</b>	<b>109</b>
<b>LAMPIRAN II .....</b>	<b>115</b>
<b>LAMPIRAN III .....</b>	<b>121</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS .....</b>	<b>127</b>

“ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan ”

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Masyarakat saat ini sering mengalami kesulitan dalam memperoleh air bersih dan bahkan air minum untuk memenuhi kebutuhan sehari-harinya atau lebih dikenal dengan krisis air, salah satunya disebabkan oleh peningkatan jumlah industri dan pertumbuhan penduduk menjadi sumber pencemar utama di wilayah sungai hingga ke muara sungai.

Kali Wonokromo merupakan bagian cabang Sungai Surabaya yang bermuara ke pantai timur kota Surabaya dan yang berpotensi mengandung polutan yang tinggi. Kali Wonokromo adalah terusan dari Kali Gunungsari yang dijadikan sumber baku air minum kota Surabaya, yang mana aliran sungai ini membawa limbah domestik dan industri yang cukup besar. Menurut Pavita (2017) Kali Wonokromo sendiri digunakan untuk keperluan masyarakat seperti menunjang makan, minum dan aktifitas sehari-hari, dengan jumlah penduduk sebesar 146,785 jiwa. Pada daerah sekitar Kali Wonokromo sebanyak 24% dari penggunaan lahan merupakan daerah permukiman yang membuang limbah domestik secara langsung ke badan air. Sehingga dapat menyebabkan air permukaan Kali Wonokromo tersebut tercemar

Pencemaran diakibatkan dari pembuangan air limbah yang berasal dari permukiman yang belum terolah secara efisien. Kegiatan usaha yang air limbahnya termasuk kategori domestik tersebut, seperti usaha warung, rumah makan, pasar, pertokoan, perkantoran dan lain-lain. Pada umumnya air limbah dibuang secara langsung ke badan air permukaan tanpa diolah terlebih dahulu pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL).

Selain itu, semakin maraknya kegiatan usaha laundry juga berdampak besar pada pencemaran sungai di kota-kota besar. Limbah usaha *laundry* mengeluarkan air limbahnya (efluen) secara langsung disalurkan ke selokan atau sungai. Akibatnya timbul masalah pencemaran dari kandungan nutrient, fosfat dan anomiaknya yang dapat berakibat munculnya busa (*foam*). Akibat adanya *foam* pada bagian atas sungai dapat mengakibatkan

sungai tertutup lapisan foam sehingga masuknya oksigen kedalam air akan terhalang dan akibat lain pada permukaan sungai dapat terjadi pertumbuhan algae atau yang lebih dikenal sebagai "*algae bloom*".

Menurut Suwari (2010) Permasalahan ini, juga menyebabkan oksigen di udara tidak dapat larut/masuk kedalam air sungai sehingga kandungan oksigen terlarut (DO) menurun mencapai dibawah 2 mg/L dan bahkan sampai mencapai kondisi septik (DO=0 mg/L) serta bau. Menurut Prakoso (2015) nilai salinitas di permukaan Kali Wonokromo berkisar dari nilai minimum sebesar 4,5% sampai dengan nilai maksimum 13,6%, dimana rata-rata nilai salinitas di Kali Wonokromo yaitu sebesar 6,02%.

Berdasarkan pemantauan Badan Lingkungan Hidup Kota Surabaya tahun 2013, menunjukkan 69,45% berstatus cemar ringan, 22,22% cemar sedang dan 8,33% cemar berat dengan parameter fisik dan kimia konsentrasinya melebihi baku mutu air kelas II. Berikut juga berdasarkan Parameter nilai BOD air Kali Surabaya terendah berkisar 2,56 mg/L dan tertinggi pada kisaran 11,94 mg/L atau rata-rata 4,186 mg/L. Parameter nilai COD air Kali Surabaya berkisar antara 8,19 - 46,499 mg/L atau rata-rata 17,054 mg/L. Parameter DO air Kali Surabaya berkisar antara 2,1 - 5,9 mg/l atau rata-rata 3,5 mg/l. Parameter nilai amonia air Kali Surabaya berkisar antara 0,019 - 0,732 mg/l atau rata-rata 0,172 mg/l. Dari hasil identifikasi bahwa sumber pencemar Kali Wonokromo diduga terbesar berasal dari outlet usaha kegiatan dan permukiman masyarakat. (Yudo dan Said, 2019)

Dengan kondisi eksisting diatas maka perlu dilakukan analisis daya tampung pencemaran pada badan air permukaan di Kali Wonokromo. Analisis dilakukan dengan metode yang dapat menghasilkan data kondisi kualitas air sungai yang tercemar. Dalam penelitian ini, analisis menggunakan metode Sistem Dinamik. Sistem Dinamik digunakan pada penelitian ini karena melibatkan variabel-variabel yang mempengaruhi kualitas air sungai yang ditandai dengan adanya penurunan beberapa parameter kualitas air, diantaranya kualitas fisik dan kimia. Maka dengan kompleksnya permasalahan dan banyaknya variabel yang mempengaruhi penurunan kualitas air sungai akan berdampak pada sistem sungai tersebut. Hal ini

akan digambarkan secara sederhana dan sistematis melalui sebuah model simulasi.

Maka dari itu dalam penelitian ini yang dipilih sebagai objek penelitian adalah Kali Wonokromo, yang mana sungai tersebut dimanfaatkan sebagai air baku untuk kebutuhan masyarakat sehari-hari dan air bersih atau air minum Kota Surabaya. Oleh karena itu pada upaya pengendalian dan pengawasan kualitas air digunakan metode sistem dinamik, untuk mengetahui daya tampung kualitas air sungai dan diharapkan juga menghasilkan model kualitas air sungai untuk prediksi beberapa tahun kedepan serta alternatif upaya perbaikan kualitas air pada masa yang akan datang.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

- Bagaimana kondisi kualitas air sungai Kali Wonokromo dilihat pada nilai parameter fisik dan kimia (TSS, BOD, COD, DO, amonia, fosfat dan deterjen)?
- Bagaimana aplikasi metode Sistem Dinamik untuk memperoleh model beban pencemar pada Kali Wonokromo?
- Bagaimana upaya untuk mengatasi pencemaran air sungai di Kali Wonokromo?

## **1.3. Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- Menganalisa kualitas air dengan parameter pencemaran (TSS, BOD, COD, DO, amonia, fosfat dan deterjen) pada Kali Wonokromo.
- Mengaplikasikan metode sistem dinamik untuk memperoleh model beban pencemar sungai pada Kali Wonokromo.
- Menentukan upaya-upaya untuk mengatasi pencemaran air sungai di Kali Wonokromo.

#### **1.4. Ruang Lingkup**

Ruang Lingkup dari penelitian ini adalah:

- Lokasi penelitian adalah Kali Wonokromo dari pintu air Jagir sampai jalan Raya KedungBaruk.
- Parameter kualitas air sungai yang dianalisis yaitu TSS, BOD, COD, DO, amonia, fosfat dan deterjen.
- Pengambilan sampel air Kali Wonokromodibeberapa titik.
- Data yang digunakan berupa data laboratorium Departemen Teknik Lingkungan ITS.
- Menggunakan metode Sistem Dinamik.
- Penelitian skala laboratorium dan skala lapangan.

#### **1.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah:

- Memberikan informasi mengenai kualitas air sungai yang disebabkan oleh pencemaran pada Kali Wonokromo.
- Memberikan pertimbangan berupa upaya langkah-langkah strategis untuk mengatasi pencemaran air sungai di Kali Wonokromo.
- Memberi kontribusi ilmiah mengenai penelitian metode Sistem Dinamik.

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1. Kualitas Sungai**

Ketersediaan air bersih terkait erat dengan kondisi kependudukan di suatu wilayah. Dinamika kependudukan mempunyai pengaruh yang sangat penting terhadap ekosistem, termasuk yang terkait dengan ketersediaan air. Tingkat pertumbuhan dan kepadatan penduduk yang tinggi tentunya dapat berimplikasi terhadap akses untuk memperoleh air bersih. Namun demikian, banyak sekali variabel antara (*intervening variabel*) yang menjembatani hubungan antara ketersediaan air bersih dan penduduk, antara lain teknologi, kebijakan, dan budaya (Alihar, 2018).

Kualitas air sungai di Indonesia sebagian besar berada pada status tercemar. Pencemaran air didefinisikan sebagai masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya (PP RI, 2001).

Menurut pantauan data Direktorat Jenderal Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) melaporkan bahwa di tahun 2015 sebanyak 68% mutu air sungai di 33 provinsi di Indonesia dalam status tercemar berat. Angka ini mengalami penurunan jika dibandingkan pencemaran di tahun 2014 yang mencapai 79%. Namun menurut Wendyartaka (2016) Walaupun mengalami penurunan persentasenya masih tergolong tinggi yaitu mencapai 51%.

Terkait penentuan status air sungai tercemar atau tidak, terdapat tujuh parameter yang digunakan untuk menghitung indeks kualitas air yang dianggap mewakili kondisi riil kualitas air sungai. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan tahun 2015, lima parameter tersebut meliputi: 1) *Total Suspended Solid (TSS)* adalah residu dari padatan total yang tertahan oleh saringan dengan ukuran partikel maksimal 2,0  $\mu\text{m}$ , yang konsentrasinya dapat digunakan untuk indikator tingkat

sedimentasi. 2) *Dissolved Oxygen* (DO) untuk mengukur banyaknya oksigen yang terkandung dalam air, yang diindikasikan memiliki tingkat pencemaran tinggi jika air memiliki DO rendah. 3) *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan senyawa organik pada kondisi aerobik. 4) *Chemical Oxygen Demand* (COD) digunakan untuk pengukuran jumlah senyawa organik dalam air yang setara dengan kebutuhan jumlah oksigen untuk mengoksidasi senyawa organik secara kimiawi. 5) *Total Phosfat* (T-P) menunjukkan keberadaan senyawa organik seperti protein, urea, dan hasil proses penguraian.

Dalam upaya pengendalian pencemaran terhadap air sungai sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air. Pada bagian ketiga Pasal 8 tentang klasifikasi dan kriteria mutu air, disebutkan bahwa klasifikasi mutu air ditetapkan menjadi 4 kelas.

1. Kelas satu, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut
2. Kelas dua, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan air tawar, perternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
3. Kelas tiga, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, perternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
4. Kelas empat, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Pada penelitian ini kualitas air sungai Kali Wonokromo akan mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air, mutu kualitas air sungai masuk ke mutu kualitas air kelas dua

yang akan diperuntukan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

**Tabel 2.1 Kriteria Mutu Kualitas Air Berdasarkan Kelas**

Parameter	Kelas				Satuan
	I	II	III	IV	
TSS	50	50	400	400	mg/L
BOD	2	3	6	12	mg/L
COD	10	25	50	100	mg/L
DO	6	4	3	0	mg/L
Amonia	10	10	20	20	mg/L
Fosfat	0,2	0,2	1	5	mg/L
Deterjen	200	200	200	-	ug/L

*Sumber :Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001*

Berdasarkan pemantauan Badan Lingkungan Hidup Kota Surabaya tahun 2013, menunjukkan 69,45% berstatus cemar ringan, 22,22% cemar sedang dan 8,33% cemar berat dengan parameter BOD dan TSS konsentrasinya melebihi baku mutu air kelas II.

Berikut juga berdasarkan Parameter nilai BOD air Kali Surabaya berkisar antara 2,56 dan 11,94 mg/l atau rata-rata 4,186 mg/l. Parameter nilai COD air Kali Surabaya berkisar antara 8,19 - 46,499 mg/l atau rata-rata 17,054 mg/l. Parameter nilai DO air Kali Surabaya berkisar antara 2,1 – 5,9 mg/l atau rata-rata 3,5 mg/l. Parameter nilai Amoniak air Kali Surabaya berkisar antara 0,019 – 0,732 mg/l atau rata-rata 0,172 mg/l. Dari hasil identifikasi bahwa sumber pencemar diduga berasal dari outlet usaha kegiatan dan permukiman masyarakat. (Yudo dan Said, 2019)

Beberapa parameter kualitas air yang digunakan untuk mengukur tingkat pencemaran dari limbah domestik dapat dilihat pada Tabel 2.1.dan Tabel 2.2. yang berdasarkan pada *effluent* yang dibuang ke badan air harus memenuhi standar kualitas air yang ditetapkan pada Peraturan Menteri Lingkungan

Hidup dan Kehutanan Nomor P.68/Menlhk-Setjen/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.

**Tabel 2.2 Klasifikasi Tingkat Pencemar dari Limbah Domestik Berdasarkan Beberapa Parameter Kualitas Air**

Parameter	Tingkat Pencemaran		
	Berat	Sedang	Ringan
Padatan Total (mg/L)	1000	500	200
Bahan Padatan Terendapkan (mg/L)	12	8	4
BOD (mg/L)	300	200	100
COD (mg/L)	800	600	400
Nitrogen Total (mg/L)	85	50	25
Amonia-Nitrogen (mg/L)	85	50	25
Klorida (mg/L)	30	30	15
Alkalinitas (mg/L)	200	100	50
Minyak dan Lemak (mg/L)	40	20	0

*Sumber: Rump and Krist, 1992 dalam Effendi, 2003*

**Tabel 2.3 Baku Mutu Air Limbah Domestik**

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	-	6 – 9
BOD	mg/L	30
COD	mg/L	100
TSS	mg/L	30
Minyak dan Lemak	mg/L	5
Amoniak	mg/L	10
Total Coliform	Jumlah/100mL	3000
Debit	L/orang/hari	100

*Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.68/Menlhk-Setjen/2016*

**Tabel 2.4. Baku Mutu Air Limbah Usaha dan/kegiatan Laundry**

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	-	6 – 9
BOD	mg/L	100
COD	mg/L	250
TSS	mg/L	100
Minyak dan Lemak	mg/L	10
Deterjen (MBAS)	mg/L	10
Fosfat (sebagai P <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )	Jumlah/100mL	10
Volume Air Limbah	Per satuan produk (L/kg cucian)	16

*Sumber: Peraturan gubernur Jawa Timur No.72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Dan/Atau Kegiatan Usaha Lainnya*

Berdasarkan Tabel 2.3.tentang Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.68/Menlhk-Setjen/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik pada diatas, maka parameter kualitas air yang digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran akibat buangan limbah domestik dalam penelitian ini meliputi TSS, BOD, COD, DO dan amonia. Akan tetapi belum cukup karena selain air limbah limbah domestik juga air limbah dari usaha laundry menyebabkan lapisan pada permukaan air yang juga menjadi permasalahan pencemaran sumber daya air permukaan (Lihat pada Tabel 2.4.), sehingga dalam penelitian ini perlu ditambahkan parameter fosfat dan deterjen.

### **2.1.1. Total Suspended Solid (TSS)**

*Total Suspended Solid* (TSS) adalah material padatan,termaksud bahan organik dan bahan anorganik yang tersuspensi didaerah perairan (Jiyah et al, 2017). Nilai konsentrasi padatan tersuspensi total yang tinggi dapat menurunkan aktivitas fotosentesis tumbuhan baik yang mikro

maupun makro sehingga oksigen yang dilepaskan tumbuhan menjadi berkurang dan menyebabkan biota lain menjadi mati.

### 2.1.2. *Biological Oxygen Demand (BOD)*

BOD merupakan ukuran jumlah zat organik yang dapat dioksidasi oleh bakteri aerob atau jumlah oksigen yang digunakan untuk mengoksidasi sejumlah tertentu zat organik dalam keadaan aerob. BOD akan semakin tinggi jika derajat pengotoran limbah semakin besar (Hung *et al.*, 2012).

**Tabel 2.5 Kriteria Kualitas Air Berdasarkan Nilai BOD**

No	Kriteria Kualitas Air	Kandungan BOD <sub>5</sub> (mg/L)
1.	Tidak tercemar	> 2,9
2.	Tercemar ringan	3,0 – 5,0
3.	Tercemar sedang	5,1 – 14,9
4.	Tercemar berat	< 15,0

Sumber: Abbasi, 2012

### 2.1.3. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Kebutuhan Oksigen Kimia (COD) digunakan untuk pengukuran jumlah senyawa organik dalam air yang setara dengan kebutuhan jumlah oksigen untuk mengoksidasi senyawa organik secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologis (*biodegradable*) maupun yang sukar dibiodegradasi secara biologis (*non-biodegradable*). nilai COD yang lebih tinggi dari nilai BOD mengindikasikan keberadaan bahan-bahan yang dapat teroksidasi secara kimia terutama adalah bahan-bahan *non-biodegradable*. (Utami, 2018)

### 2.1.4. *Dissolved Oxygen (DO)*

*Dissolved Oxygen (DO)* merupakan indikator utama kualitas air untuk mengukur banyaknya oksigen yang terkandung dalam air, yang diindikasikan memiliki tingkat pencemaran tinggi jika air memiliki DO rendah. Konsentrasi

DO yang rendah dapat mengakibatkan kematian masal ikan biota lain yang ada di dalam sungai. Selain itu, konsentrasi DO yang sangat rendah dapat menyebabkan kondisi lingkungan sungai menjadi anaerob sehingga dapat mengakibatkan timbulnya gas hidrogen sulfida ( $H_2S$ ) penyebab bau (Yudo dan Said, 2019)

**Tabel 2.6 Kriteria Kualitas Air Berdasarkan Nilai DO**

No	Kriteria Kualitas Air	Kandungan DO (mg/L)
1.	Tidak tercemar dan tercemar sangat ringan	> 6,5
2.	Tercemar ringan	4,5 – 6,40
3.	Tercemar sedang	2,0 – 4,4
4.	Tercemar berat	< 2,0

Sumber: Surwati et al, 2011

### 2.1.5. Senyawa Fosfat

Ortofosfat (bahasa Inggris: *orthophosphate*, *inorganic phosphate*, *Pi*) atau sering disebut gugus fosfat adalah sebuah ion poliatomik atau radikal terdiri dari satu atom fosforus dan empat oksigen. Dalam bentuk ionik, fosfat membawa sebuah -3 muatan formal, dan dinotasikan dengan ( $PO_4^{3-}$ )

Fosfat berasal dari detergen dalam limbah cair dan pestisida serta insektisida dari lahan pertanian. Fosfat terdapat dalam air alam atau air limbah sebagai senyawa orto fosfat, polifosfat dan fosfat organik. Setiap senyawa fosfat tersebut terdapat dalam bentuk terlarut, tersuspensi atau terikat di dalam sel organisme dalam air.

Keberadaan senyawa fosfat dalam air sangat berpengaruh terhadap keseimbangan ekosistem perairan. Apabila kadar fosfat dalam air rendah (< 0,01 mg P/L), pertumbuhan ganggang akan terhambat, keadaan ini dinamakan *oligotrop*. Sebaliknya bila kadar fosfat dalam air tinggi, pertumbuhan tanaman ganggang tidak terbatas lagi (keadaan *eutrof*), sehingga dapat mengurangi jumlah oksigen terlarut air. Hal ini tentu sangat berbahaya bagi kelestarian

ekosistem perairan. Menurut Boyd (1982), kadar fosfat dalam perairan alamiumumnya berkisar antara 0,005-0,02 ppm. Kadar fosfat melebihi 0,1 ppm, tergolong perairan yang *eutrof*. (Mratandani, 2016)

### **2.1.6. Senyawa Amonia (NH<sub>3</sub>)**

Amonia adalah senyawa nitrogen anorganik yang bersifat gas dan cair yang tak berwarna dan memiliki bau yang khas. Amonia merupakan kontaminan yang terdapat di tanah maupun air limbah yang memiliki konsentrasi 5–10 mg/L (Ekasari, 2013). Amonia di perairan berasal dari sisa metabolisme (ekskresi) hewan dan proses dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme. Menurut Effendi (2003), sumber amonia di perairan adalah gas nitrogen dari proses difusi udara yang tereduksi di dalam air.

### **2.1.7. Deterjen**

Deterjen merupakan gabungan dari berbagai senyawa dimana komponen utama dari gabungan tersebut adalah *surface active agents* atau surfaktan. Menurut Haderiah dan Dewi (2015), Kadar deterjen adalah banyaknya MBAS (*Methylen Blue Active Surfactant*) yang terkandung dalam limbah yang diukur dengan metode kolor-imetrik, dan dinyatakan dalam satuan mg/L. Pencemaran akibat limbah deterjen menyebabkan timbulnya residu di hampir semua jenis perairan, seperti danau, sungai, laut, dan air tanah dangkal. Deterjen merupakan salah satu parameter penting dalam pendugaan pencemaran perairan, khususnya untuk wilayah yang berbatasan langsung dengan aktivitas manusia, seperti kawasan industri, pelabuhan, dan pemukiman. (Fuad *et al*, 2017).

## **2.2. Nilai Konstansa Sungai**

Penentuan konstanta Nilai sungai atau nilai Kd dalam model diasumsikan sama untuk parameter BOD, COD dan DO menggunakan tabel 2.7 di bawah ini. Penentuan nilai Kd disesuaikan dengan kondisi eksisting yang ada pada sungai.

**Tabel 2.7 Nilai Konstanta Dalam Model**

Konstanta	Nilai	Satuan
Kr, Sungai dalam dan lambat	0,1 – 0,4	l/hari
Kr, Badan air tipikal kondisi	0,4 – 1,5	l/hari
Kr, Sungai dalam dan cepat	1,5 – 4,0	l/hari
Kr, Sungai dangkal dan cepat	4,0 – 10,0	l/hari
Kd, Pembuangan tanpa pengolahan	0,35 (0,20 – 0,50)	l/hari

Sumber: Chapra, 1997

Adapun nilai konstanta untuk kecepatan reoksigenasi. Angka konstanta kecepatan reoksigenasi atau nilai  $K_a$  menunjukkan besarnya laju penyerapan oksigen atmosfer ke dalam perairan. Menurut rumus *O'Connor– Dobbins* besarnya nilai  $K_a$  di perairan bergantung pada kombinasi antara nilai kecepatan ( $v$ ) dan kedalaman ( $H$ ) seperti dinyatakan dalam persamaan 2.1 berikut.

$$K_a = 3,95 \frac{v^{0,5}}{H^{1,5}} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

- $K_a$  = Konstanta kecepatan reoksigenasi/reaerasi (hari<sup>-1</sup>)
- $V$  = Kecepatan aliran rata-rata, m/s
- $H$  = Kedalaman aliran rata-rata, m

(*O'Connor– Dobbins*, 1989)

### 2.3. Pendekatan Sistem Dinamik

Sistem dinamis menurut Muhammadi (2011), adalah suatu metodologi untuk memahami adanya permasalahan yang kompleks dengan melibatkan berbagai komponen dan variabel yang saling berinteraksi serta mempunyai sifat dinamis atau berubah terhadap waktu.

Untuk menyelesaikan permasalahan sistem dinamik yang menghasilkan skenario kebijakan perlu dilakukan pembuatan model. Berikut tahapan dalam pembangunan model sebagai berikut:

1. Pembuatan konsep dalam diagram sebab akibat (*Casual Loop Diagram*).
2. Pembuatan model diagram sistem dinamik (*Stock and Flow Diagram/SFD*).
3. Formulasi matematis.
4. Simulasi.
5. Verifikasi dan Validasi.
6. Penyusun skenario kebijakan. (Novitasari, 2013)

## 2.4. Indeks Pencemaran (IP)

Indeks pencemaran digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran terhadap kualitas air sungai yang di izinkan. Pengelolaan kualitas air sungai atas dasar indeks pencemaran dapat memberikan masukan untuk pengambilan keputusan dalam kebijakan, agar dapat menilai kualitas air sungai yang diperuntukan serta melakukan tindakan untuk memperbaiki kualitas air sungai jika terjadi penurunan. Indeks pencemaran mencakup nilai *independent* dan variabel kelompok. Berikut pada persamaan 2.2 adalah rumus indeks pencemaran.

$$Plj = \sqrt{\frac{(Ci/Lij)^2 M + (Ci/Lij)^2 R}{2}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

- Plj = Indeks pencemaran
- Ci = Konsentrasi parameter kualitas air
- Lj = Konsentrasi parameter kualitas air berdasarkan baku mutu yang ditentukan
- M = Nilai maksimum
- R = Nilai rata-rata

Metode ini dapat langsung menghubungkan tingkat nilai pencemaran dengan dapat atau tidaknya sungai menampung beban tersebut sesuai dengan kualitas yang telah diperuntukan dan dengan nilai parameter tertentu. Kelas nilai indeks pencemar ada berbagai macam yaitu, nilai  $0 \leq 1,0$  = memenuhi baku mutu (*good*) , nilai  $1,0 \leq 5,0$  = tercemar ringan, nilai  $5,0 \leq 10,0$  =

tercemar sedang, nilai IP > 10,0 = tercemar berat. (Saraswati et al, 2014)

## 2.5. Analisa Daya Tampung

Analisis daya tampung dilakukan untuk mengidentifikasi daya tampung beban pencemaran serta mengindikasikan adanya pencemaran dan penurunan kualitas air dikarenakan pada sungai tersebut telah mendapatkan masukan limbah yang besar dari kegiatan aktifitas manusia.

Penentuan kualitas air dan daya tampung dilakukan dengan mendeskripsikan kondisi sungai. Metode yang digunakan adalah dengan membandingkan data hasil model dengan standar kualitas air kelas sungai, sesuai peruntukan yang dibutuhkan. Perhitungan daya tampung menggunakan persamaan neraca massa, berikut adalah persamaan rumus perhitungan analisis daya tampung pencemaran.

$$CR = \frac{\sum Ci.Qi}{\sum Qi} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

- CR = Konsentrasi rata-rata beban pencemar.
- Ci = Konsentrasi pada aliran.
- Qi = Debit aliran.

Dari perhitungan dengan persamaan rumus di atas didapatkan hasil daya tampung pencemaran di sungai pada setiap parameter. (Pavita, 2017)

## 2.6. Kajian Terdahulu

Penelitian daya tampung pencemaran air sungai dengan menggunakan metode sistem dinamik telah banyak dipergunakan di berbagai wilayah Indonesia maupun negara-negara lain. Berikut merupakan kajian terdahulu dari penelitian daya tampung pencemaran air sungai dengan metode sistem dinamik.

## **1. Studi Penentuan Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Akibat Limbah Domestik di Kali Wonokromo.**

Pada tahun 2017, dilakukan penelitian yang mengukur pencemaran di Kali Wonokromo dengan menghitung dan menganalisa daya tampug beban pencemaran terhadap parameter air sungai. Hasil penelitian menunjukkan limbah domestik mengakibatkan peningkatan yang signifikan pada parameter TSS, BOD, COD dan nitrat (Pavita, 2017).

## **2. Prediksi Pencemaran Air Kali Surabaya Segmen Karangpilang - Ngagel Dengan Metode STELLA.**

Pada tahun 2018, dilakukan penelitian yang mengukur pencemaran di Kali Surabaya Segmen Karangpilang-Ngagel dengan menggunakan metode siste dinaik dengan model STELLA. Hasil penelitian menunjukkan nilai prediksi dari parameter DO untuk beberapa tahun kedepan. Pada penelitian ini juga menggunakan nilai Indeks pencemaran yang tujuannya untuk menentukan status air sungai (Putri, 2018).

## **BAB III METODE PENELITIAN**

### **3.1. Tahapan Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Surabaya, Jawa Timur. Pada Sungai Surabaya segmen Kali Wonokromoyang berada di sebelah pantai timur Surabaya. Aliran sungai ini mengalir sepanjang  $\pm 5$  km dan menuju ke laut lepas atau biasa disebut wilayah muara sungai. Hulu sungai berawal dari pintu air Jagir Wonokromo dan aliran hilir berakhir di jembatan MERR Ir. Soekarno. Berikut pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 adalah peta Sungai Surabaya dan peta Kali Wonokromo.

### **3.2. Kerangka Penelitian**

Kerangka penelitian merupakan dasar pemikiran yang digunakan untuk melaksanakan tahapan pada penelitian. Kerangka penelitian dibuat dalam bentuk gambaran garis besar secara visual untuk mempermudah peneliti dalam melaksanakan penelitian sehingga memperkecil resiko yang dapat terjadi selama berlangsungnya penelitian.

#### **3.2.1. Ide Penelitian**

Ide penelitian didasarkan pada kondisi penelitian saat ini, pada Kali Wonokromo saat ini tercemar oleh limbah domestik dan limbah industri. Hal tersebut menyebabkan penurunan kualitas air sungai. Air Kali Wonokromo pada saat ini dimanfaatkan untuk keperluan masyarakat sekitar sungai seperti mandi, cuci dan kakus. Selain itu harapannya dalam beberapa tahun kedepan Kali Wonokromo dapat dijadikan sumber air baku untuk PDAM Ngagel Tirto, sehingga dilakukan upaya untuk mengetahui kualitas air dengan parameter yaitu TSS, BOD, COD, DO, amonia, fosfat dan deterjen pada Kali Wonokromo dalam satu tahun kedepan.

Langkah pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah melakukan survey lapangan untuk menemukan tempat

pengambilan sampling. Titik pengambilan sampling ditentukan sesuai dengan daerah yang telah di *Clustering* sesuai dengan kategori daerah sumber pencemaran (pemukiman, perdagangan/perkantoran dan industri). Kemudian dilakukan Plotting untuk menentukan titik pengambilan sampel.

Langkah kedua adalah melakukan kegiatan penentuannilaikualitas air dengan parameterTSS, BOD, COD, DO, amonia, fosfat dan deterjen. Penilaian ini dilakukan pada dua musim yang berbeda. Pada penelitian ini sampling hanya dilakukan dimusim penghujan yaitu dengan range bulan september hingga bulan desember. Data sampling pada musim kemarauakan dianalisis melalui data sekunder yang ada sebagai bahan pertimbangan.

Langkah ketiga adalah penentuan beban pencemaran pada air sungai seusai dengan kualitas dan kuantitas standart yang berlaku. Pada penelitian ini menggunakan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air,pada air sungai sebagai tolak ukur kualitas air sungai. Pada penelitian ini akan mengacu pada kualitas air sungai kelas II yang diperuntukan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan air tawar, perternakan, air untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut. Berikut pada Gambar 3.3 adalah gambar kerangka penelitian.



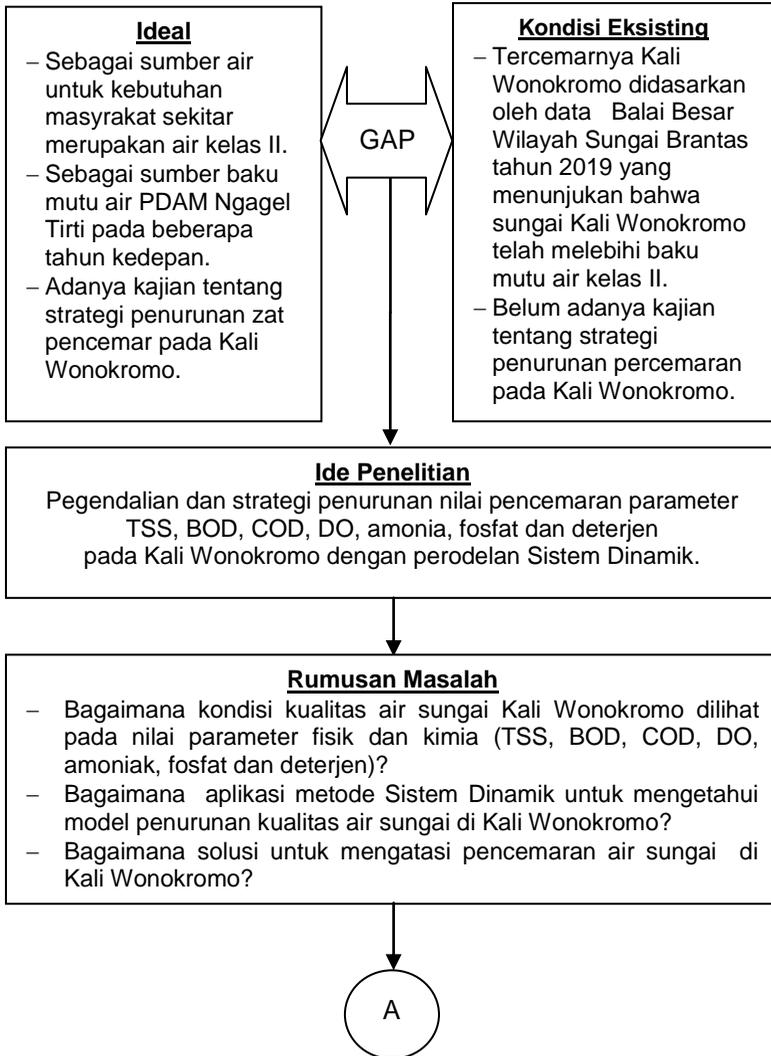
Gambar 3.1 Aliran Sungai Surabaya

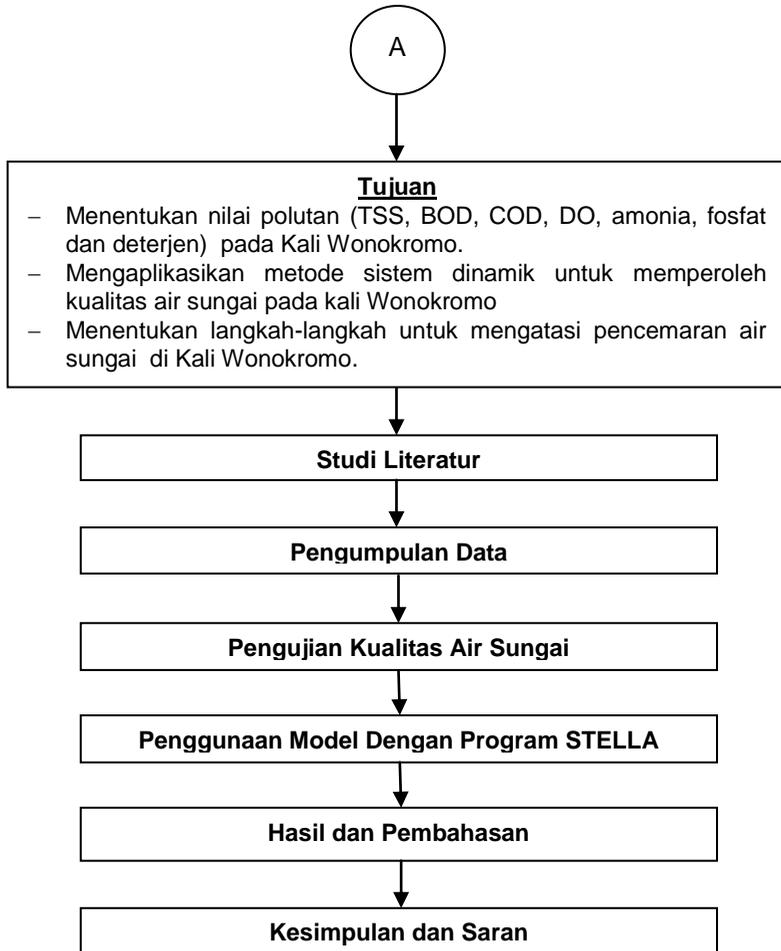
“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”



“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

• **Kerangka Penelitian**





**Gambar 3.3 Kerangka Penelitian**

### **3.2.2. Studi Literatur**

Studi literatur dilakukan pada awal hingga penelitian untuk mendapatkan dasar teori yang berkaitan dengan penelitian sehingga dapat menjadi acuan dalam menganalisis data untuk memperoleh kesimpulan yang tepat pada penelitian ini. Literatur yang digunakan pada penelitian ini meliputi baku mutu air sungai, pencemaran air sungai, kualitas air sungai, sistem dinamik dan model program STELLA yang diperoleh dari hasil penelitian terdahulu, buku teks, internet dan lain-lain.

### **3.2.3. Pengumpulan Data**

Kegiatan penentuan kualitas air sungai, dimulai dari survei dan pengumpulan data primer dan sekunder. Kegiatan ini bertujuan untuk memperoleh data sekunder berupa:

- a. Peta sungai akan diperoleh dari Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Jawa Timur.
- b. Data debit sungai, kecepatan aliran akan diperoleh dari Dinas Balai Besar Wilayah Sungai Brantas Provinsi Jawa Timur.

Sedangkan kegiatan survei lapangan dan pengumpulan data primer bertujuan untuk, menentukan titik sampling dan data kualitas air dapat. Pemilihan lokasi sampling berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 01 tahun 2007 tentang Pedoman Pengkajian Teknis untuk Menetapkan Kelas Air. Penentuan titik sampling dilakukan pada badan air sungai dengan batas yang dapat secara nyata menunjukkan perbedaan. Titik sampling diperlukan untuk mengidentifikasi apakah ada masukan kedalam titik tersebut yang dapat mengubah debit dan kualitas air.

Sampling kualitas air sungai dilakukan untuk menilai parameter TSS, BOD, COD, DO, amonia, fosfat dan deterjen pada air sungai, dilakukan pada titik-titik lokasi yang telah ditentukan. Pengambilan sampel air sungai dilakukan dari hulu ke hilir, pengambilan sampel dilakukan pada 2 musim yaitu musim kemarau dan musim hujan. Pada penelitian ini pengambilan sampel dilakukan pada range bulan septeber hingga bulandeseberyaitu musim penghujan, sedangkan untuk musim kemarau akan digunakan data sekunder.

Pengambilan sampel dilakukan secara serentak di titik-titik pengambilan sampel yang telah ditentukan, selanjutnya sampel air dianalisis di Laboratorium Lingkungan. *Sampling* air sungai dilakukan berdasarkan SNI 6989.57:2009 tentang metode pengambilan sampel air permukaan. Metode yang digunakan adalah *grab sampling*, yaitu sampel yang diambil secara langsung dari badan air. Pengukuran kecepatan aliran dan debit sungai dilakukan dengan metode pengukuran sesuai SNI 03-2819-1992 Metode Pengukuran Debit Sungai dan Saluran Terbuka dengan Alat Ukur Arus Tipe Pelampung. Pada penelitian ini akan dilakukan sampling berdasarkan titik-titik yang telah ditentukan. Berikut pada Gambar 3.4 adalah titik pengambilan sampel.



“ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan ”

- Titik 1 : Sungai Kali Wonokromo yang terletak pada Pintu Air Jagir dan Sungai Kali Wonokromo (Jalan Jagir Wonokromo) sebelum *outlet* pembuangan PDAM Ngagel Tirto
  - Garis lintang  $7^{\circ}18'2.21''\text{S}$  dan garis bujur  $112^{\circ}44'28.78''\text{S}$ .
- Titik 2 : Sungai Kali wonokromo (Jalan Jagir Wonokromo) setelah *outlet* pembuangan PDAM Ngagel Tirto dan terletak pada Kali Wonokromo (Jalan Jagir Wonokromo) setelah outlet drainase Jagir Kalimir.
  - Garis lintang  $7^{\circ}18'8.14''\text{S}$  dan garis bujur  $112^{\circ}44'50.71''\text{S}$ .
- Titik 3 : Sungai Kali wonokromo (Jalan Jagir Wonokromo) setelah setelah outlet drainase Jagir Kalimir dan terletak pada Kali Wonokromo (Jalan Panjang Jiwo) sebelum jembatan Nginden.
  - Garis lintang  $7^{\circ}18'13.49''\text{S}$  dan garis bujur  $112^{\circ}45'10.23''\text{S}$ .
- Titik 4 : Sungai Kali Wonokromo (Jalan Panjang Jiwo) setelah jembatan Nginden dan terletak pada Kali Wonokromo (Jalan Raya Kedung Baruk) sebelum outlet drainase Kedung Baruk.
  - Garis lintang  $7^{\circ}18'25.44''\text{S}$  dan garis bujur  $112^{\circ}45'55.36''\text{S}$ .
- Titik 5 : Sungai Kali Wonokromo (Jalan Raya Kedung Baruk) setelah outlet drainase Kedung Baruk dan terletak pada jembatan MERR .
  - Garis lintang  $7^{\circ}18'33.76''\text{S}$  dan garis bujur  $112^{\circ}46'28.15''\text{S}$ .

### 3.3. Analisis Data dan Laboratorium

Analisis laboratorium untuk kualitas air sungai di lakukan oleh Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan dengan metode pada AWWA. Analisis beban pencemaran dari berbagai sumber pencemar dapat dilakukan melalui dua pendekatan yaitu :

## 1. Metode perhitungan langsung (*Rapid Assessment*)

Perhitungan langsung menggunakan data kadar dan debit air limbah hasil pengukuran di lapangan. Persamaan yang digunakan untuk menghitung beban pencemaran adalah:

$$BP = Q_i \times C \times f$$

Keterangan:

BP = beban pencemaran yang berasal dari sumber (kg / hari)

Q = debit air limbah atau air sungai ( $m^3$  / detik)

C<sub>i</sub> = konsentrasi parameter ke-i (mg / Liter)

f = faktor konversi (86,4)

$$\frac{0,000001 \text{ kg}}{\text{liter}} = \frac{1 \text{ mg}}{\text{liter}} \times \frac{(1000 \text{ liter})}{(1/86400 \text{ dtk})} = 86,4$$

## 2. Metode perhitungan tidak langsung

Perhitungan tidak langsung menggunakan faktor emisi yang digunakan untuk memperkirakan beban pencemar dari sumber pencemaran yang sulit diukur kualitas maupun kuantitasnya secara langsung. Dalam penelitian ini digunakan untuk memperkirakan potensi beban pencemar dari rumah tangga, rumah makan, rumah sakit, pasar dan hotel.

Potensi beban pencemar dari rumah tangga diestimasi dengan mengalikan jumlah penduduk per unit pemetaan dikalikan dengan faktor emisi parameter pencemar tertentu per orang per hari dan koefisien transfer beban yang masuk ke sumber air.

Rumus yang digunakan untuk menghitung potensi beban pencemaran dari sumber domestik (rumah tangga dan pasar) (Balai Lingkungan Keairan Puslitbang SDA, Kementerian PU, 2004) sebagai berikut :

$$\text{PBP Limbah domestik} = \text{Jumlah Penduduk} \times F \times \text{rasio eq} \times \alpha$$

Keterangan :

PBP = Potensi beban pencemaran

F (faktor emisi/*generation load*)penduduk:

1. BOD = 46 gr/orang/hari
2. COD = 57 gr/orang/hari
3. TSS = 38 gr/orang/hari

Rasio ekivalen kota(*discharge load*):

1. Kota = 1
2. Pinggiran Kota = 0,8125
3. Pedalaman = 0,625

Alpha ( $\alpha$ ): Koefesien transfer beban(*delivery load*)

Nilai  $\alpha = 1$ , digunakan untuk daerah yang lokasinya berjarak antara 0 sampai 100meter dari sungai,

Nilai  $\alpha = 0,85$ , untuk lokasi yang berjarak diantara 100–500 meter dari sungai,

Nilai  $\alpha = 0,3$ , untuk lokasi yang berjarak lebih besar dari 500 meter dari sungai.

Penghitungan kapasitas asimilasi perairan sungai dalam penelitian ini menggunakan metode hubungan kualitas air dan beban limbahnya. Perhitungan kapasitas asimilasi metode hubungan kualitas air dan beban limbahnya dilakukan secara *indirect approach* (tidak langsung) yaitu dengan metode hubungan antara masing-masing parameter kualitas air di perairan sungai dengan total beban pencemar di air permukaan sungai.

Metode kapasitas ini menggunakan garis regresi serta grafik hubungan antara kualitas air di hilir dengan beban pencemaran total di hilirserta perpotongannya dengan garis baku mutu per parameter air kelas 1 yang peruntukannya digunakan sebagai sumber air baku air minumsesuai dengan PP No.82 tahun 2001 (Sembel, 2014) Secara matematis memiliki persamaan sebagai berikut :

$$y = f(x)$$

Atau persamaan regresinya :

$$y = a + bx$$

Di mana :

y = parameter konsentrasi pencemar

x = parameter beban pencemar

a = nilai konstanta/*intercept*/perpotongan dengan sumbu tegak (nilai tengah)

b =*slope/gradient* (koefisien regresi untuk parameter)

Perhitungan daya tampung beban pencemaran ini berfungsi untuk mengetahui kemampuan badan air Kali Wonokromo untuk menampung limbah yang masuk kedalamnya. Beban pencemaran kemudian dijadikan komponen dalam perhitungan daya tampung beban pencemaran. Untuk menentukan daya tampung sungai, baku mutuair pada Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 dijadikan sebagai acuan.

Dalam penetapan daya tampung beban pencemaran parameter yang dihitung pada setiap titik pengamatan adalah TSS, BOD, COD, DO, amonia, fosfat dan deterjen sehingga dapat diketahui kemampuan Kali Wonokromo dalam menampung beban pencemar tersebut pada setiap titiknya.Perhitungan DayaTampungBebanPencemarKali Wonokromodidalam penelitian ini melalui perhitungan yaitu: Daya tampung beban cemar (kg/hari) = Beban cemar yang diizinkan (kg/hari) – Beban cemar terukur (kg/hari).

### 3.4. Hasil dan Pengukuran

Hasil perhitungan daya tampung beban pencemaran kemudian akan disajikan dalam data Sistem Dinamik tujuan dari penggunaan metode ini adalah untuk mengetahui kualitas air sungai berdasarkan faktor-faktor zat polutan yang mencemari badan air permukaan Sungai Surabaya segmen Kali Wonokromodan perilaku masyarakatsekitardaerahaliransungai. Hasil dari metode ini adalah model dinamik yang menyatakan hubungan antara faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas air Kali Wonokromo.

Untuk menyelesaikan permasalahan akan digunakan sistem dinamik yang menghasilkan skenario kebijakan yang perlu dilakukan pembuatan model. Berikut tahapan dalam pembangunan model sebagai berikut:

1. Pembuatan konsep diagram sebab akibat (*Casual Loop Diagram*).

Pada *Causal Loop Diagram* ini menggambarkan variabel-variabel yang mempunyai hubungan keterkaitan antara satu dengan lain yang berupa hubungan sebab akibat (*feedback*). Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk memberikan gambaran sistem secara umum, berikut adalah Gambar 3.5 Contoh Diagram Casual Loop.

2. Pembuatan model diagram sistem dinamik (*Stock and Flow Diagram/SFD*).

Pada *Stock and Flow Diagram* ini menggambarkan dua variabel yang mempunyai hubungan keterkaitan antara satu dengan yang lain. Berupa *stock (level)* merupakan akumulasi atau data dasar pada sistem, sedangkan *flow (rate)* merupakan variabel yang menjelaskan mengapa dan bagaimana suatu hal tersebut terjadi pada sistem. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui permasalahan yang mempengaruhi sistem, berikut pada Gambar 3.6 Contoh Diagram *Stock and Flow*.

“ Halaman Sengaja Dikosongkan ”



“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”



“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

### 3. Formulasi dan Simulasi Model

Model dapat dilakukan simulasi setelah tahapan pembuatan *stock and flow* diagram telah dibuat dan kemudian dilakukan penyusunan formulasi matematis. Formulasi matematis dilakukan dengan cara memasukkan keterkaitan atau interaksi antar variabel secara matematis.



**Gambar 3.7 Contoh Formulasi Model**

Simulasi model dibangun dengan menggunakan *software* STELLA versi 3.1.9. Simulasi ini dilakukan dengan tujuan untuk melihat perilaku dari sistem yang telah dibuat. Simulasi ini dilakukan dengan memasukkan nilai matematis pada variabel yang telah disesuaikan dengan sistem nyata. Pada tahun awal akan dimulainya simulasi perlu didefinisikan terlebih dahulu satuan waktu yang digunakan selama simulasi, pada simulasi ini menggunakan *setting* satuan waktu bulan (*month*).

#### 4. Verifikasi dan Validasi Model.

Verifikasi dan Validasi model merupakan tahap pengujian terhadap model untuk melihat apakah model sudah mampu menggambarkan sistem. Verifikasi dan validasi model dilakukan dengan cara membandingkan nilai rata-rata dan perbedaan variabel antara hasil simulasi dengan kondisi eksisting sistem. Pada tahap ini akan dilakukan pemeriksaan pada formulasi (*equation*) dan satuan (*unit*) pada model yang telah dibuat.

#### 5. Skenario Kebijakan.

Menentukan skenario kebijakan ini dilakukan untuk melihat masing-masing variabel yang berpengaruh serta melihat perbedaan antara hasil skenario dengan logika aktual (*current*) pada sistem.

### 3.5. Kesimpulan dan Saran

Hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan dan saran. Kesimpulan yang berisi mengenai informasi daya tampung beban pencemar pada Kali Wonokromo dan cara mengurangi dampak pencemaran yang terjadi pada Kali Wonokromo dengan berbagai alternatif pada permasalahan tersebut. Saran diberikan untuk perbaikan penelitian dan pelaksanaan penelitian lebih lanjut.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Segmentasi Kali Wonokromo

Pada penelitian ini melakukan analisis air sungai di Kali Wonokromo, Sungai ini mengalir sepanjang kurang lebih 5 km dari hulu (Jalan Jagir Wonokromo) hingga hilir (Jalan Raya Kedung Baruk). Pada penelitian ini sungai akan di bagi menjadi 5 segmen dan 5 titik pengambilan sampel. Peta segmen Kali Wonokromo telah digambarkan pada Gambar 4.1.

Penentuan titik sampling dilakukan untuk mempermudah dalam pengambilan sampel air sungai. Pembagian titik didasarkan pada *clusterisasi* daerah penghasil pencemaran (limbah) atau *point source* pada Kali Wonokromo. Berikut pada Tabel 4.1 adalah tabel sumber pencemar Kali Wonokromo.

**Tabel 4.1 Sumber Pencemar Kali Wonokromo**

No	Segmen Sungai	Sumber Pencemar
1	Segmen 1	Hulu Kali Wonokromo
2	Segmen 2	Buangan limbah dari PDAM Ngagel Tirto
3	Segmen 3	Buangan domestik dari permukiman Jagir Sidomukti dan Jagir Sidosermo
4	Segmen 4	Buangan domestik dari permukiman Jagir Sidomukti dan buangan dari Industri
5	Segmen 5	Buangan domestik dari permukiman Kedung Baruk dan buangan pusat perkantoran

*Sumber : Hasil Survey Lapangan*

“ Halaman Sengaja Dikosongkan ”



**Gambar 4.1 Segmen Kali Wonokromo**

*Sumber : Google Earth Tahun 2020*

“ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan ”

#### 4.1.1. Segmen 1 (Titik A – Titik B)

Segmen pertama merupakan Titik A – Titik B. Titik A terletak pada Pintu Air Jagir dan Titik B terletak pada Kali Wonokromo (Jalan Jagir Wonokromo) sebelum *outlet* pembuangan PDAM Ngagel Tirto. Berada pada garis lintang  $7^{\circ}18'2.21''\text{S}$  dan garis bujur  $112^{\circ}44'28.78''\text{S}$ . Panjang segmen ini adalah 750 meter. Segmen ini merupakan hulu dari Kali Wonokromo. Peta segmen 1 dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut.

- Hidrogeometri Sungai

Lokasi sampling segmen 1 memiliki lebar sungai rata-rata 40 m dan kedalaman sungai mencapai 2,90 m. Air sungai memiliki kecepatan 0,14 m/det dan debit aliran rata-rata 16,30 l/det. Berikut adalah kondisi eksisting sungai pada Gambar 4.2.



**Gambar 4.2 Kondisi Eksisting Sungai Segmen 1**

“ Halaman Sengaja Dikosongkan ”



**Gambar 4.3 Segmen Kali Wonokromo 1**

*Sumber : Google Earth Tahun 2020*

“ Halaman Sengaja Dikosongkan ”

#### 4.1.2. Segmen 2 (Titik B – Titik C)

Segmen kedua merupakan Titik B – Titik C. Titik B terletak pada Kali wonokromo (Jalan Jagir Wonokromo) setelah *outlet* pembuangan PDAM Ngagel Tirto dan Titik C terletak pada Kali Wonokromo (Jalan Jagir Wonokromo) setelah outlet drainase Jagir Kalimir. Berada pada garis lintang  $7^{\circ}18'8.14''S$  dan garis bujur  $112^{\circ}44'50.71''S$ . Panjang segmen ini adalah 500 meter. Segmen ini di bagi berdasarkan adanya buangan limbah dari PDAM Ngagel Tirto. Peta segmen 2 dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut.

- Hidrogeometri Sungai  
Lokasi sampling segmen 2 memiliki lebar sungai rata-rata 47 m dan kedalaman sungai mencapai 2,7 m. Air sungai memiliki kecepatan 0,12 m/det dan debit aliran rata-rata 16,1 l/det. Berikut adalah kondisi eksisting sungai pada Gambar 4.4.



**Gambar 4.4 Kondisi Eksisting Sungai Segmen 2**

“ Halaman Sengaja Dikosongkan ”



**Gambar 4.5 Segmen Kali Wonokromo 2**

*Sumber : Google Earth Tahun 2020*

“ Halaman Sengaja Dikosongkan ”

#### 4.1.3. Segmen 3 (Titik C – Titik D)

Segmen ketiga merupakan Titik C – Titik D. Titik C terletak pada Kali wonokromo (Jalan Jagir Wonokromo) setelah outlet drainase Jagir Kalimir dan Titik D terletak pada Kali Wonokromo (Jalan Jagir Wonokromo) sebelum jembatan Nginden. Berada pada garis lintang  $7^{\circ}18'13.49''\text{S}$  dan garis bujur  $112^{\circ}45'10.23''\text{S}$ . Panjang segmen ini adalah 1,5 km. Segmen ini di bagi berdasarkan adanya buangan domestik dari permukiman Jagir Sidomukti dan Jagir Sidosermo. Peta segmen 3 dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut.

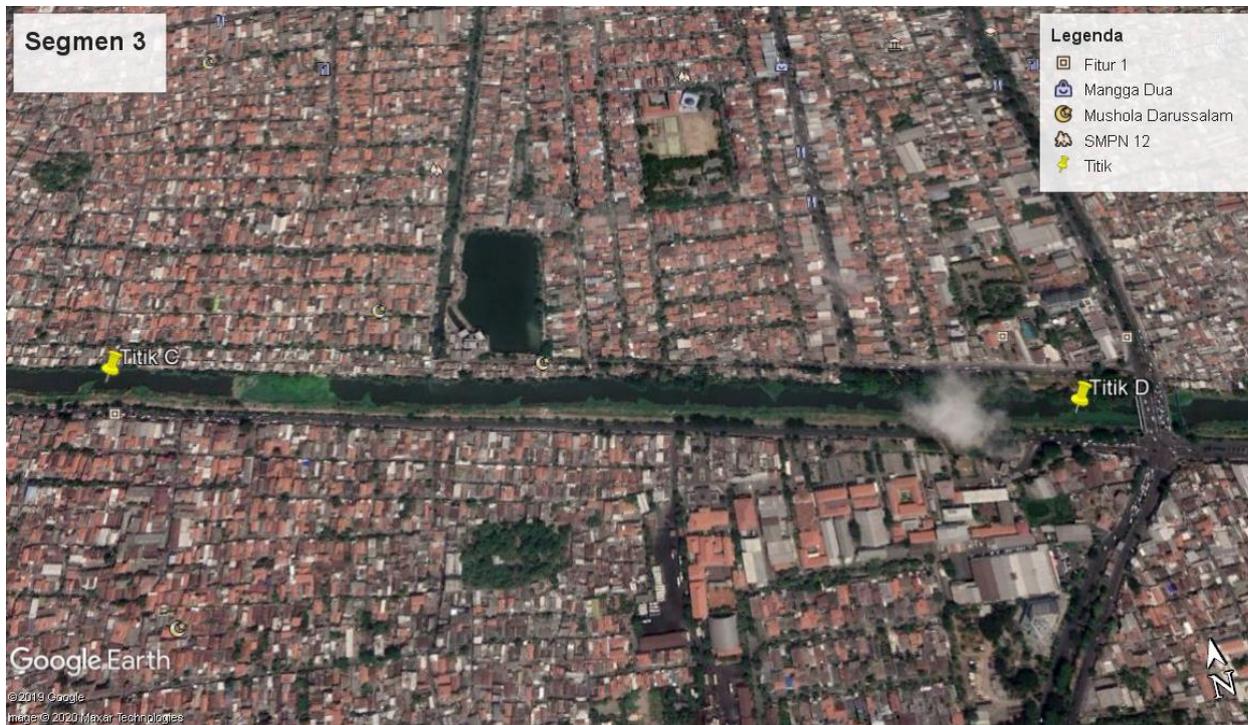
- Hidrogeometri Sungai

Lokasi sampling segmen 3 memiliki lebar sungai rata-rata 47 m dan kedalaman sungai mencapai 2,50 m. Air sungai memiliki kecepatan 0,11 m/det dan debit aliran rata-rata 15,94 l/det. Berikut adalah kondisi eksisting sungai pada Gambar 4.6.



**Gambar 4.6 Kondisi Eksisting Sungai Segmen 3**

“ Halaman Sengaja Dikosongkan ”



**Gambar 4.7 Segmen Kali Wonokromo 3**

*Sumber : Google Earth Tahun 2020*

“ Halaman Sengaja Dikosongkan ”

#### 4.1.4. Segmen 4 (Titik D – Titik E)

Segmen keempat merupakan Titik D – Titik E. Titik D terletak pada Kali Wonokromo (Jalan Panjang Jiwo) setelah jembatan Nginden dan Titik E terletak pada Kali Wonokromo (Jalan Raya Kedung Baruk) setelah outlet drainase Kedung Baruk. Berada pada garis lintang  $7^{\circ}18'25.44''\text{S}$  dan garis bujur  $112^{\circ}45'55.36''\text{S}$ . Panjang segmen ini adalah 1,3 km. Segmen ini di bagi berdasarkan adanya buangan domestik dari permukiman Jagir Sidomukti dan buangan dari Industri. Peta segmen 4 dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut.

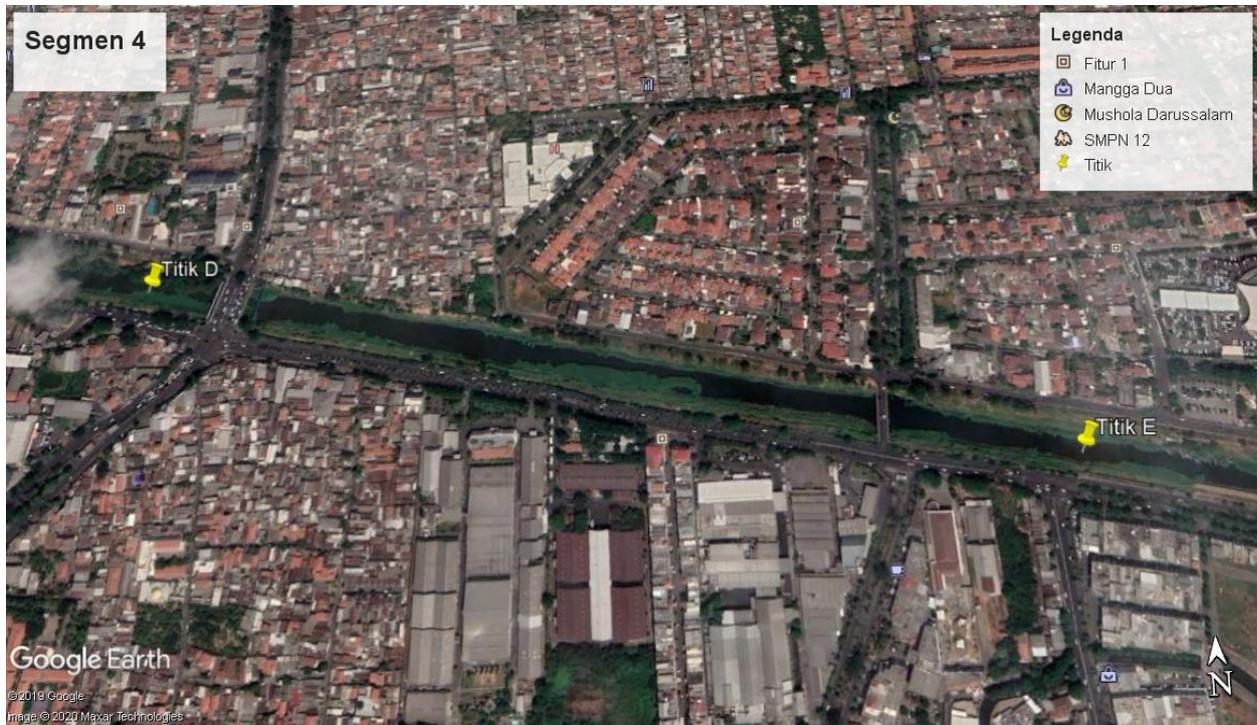
- Hidrogeometri Sungai

Lokasi sampling segmen 4 memiliki lebar sungai rata-rata 55 m dan kedalaman sungai mencapai 2,6 m. Air sungai memiliki kecepatan 0,1 m/det dan debit aliran rata-rata 15,5 l/det. Berikut adalah kondisi eksisting sungai pada Gambar 4.8.



**Gambar 4.8 Kondisi Eksisting Sungai Segmen 4**

“ Halaman Sengaja Dikosongkan ”



**Gambar 4.9 Segmen Kali Wonokromo 4**

*Sumber : Google Earth Tahun 2020*

“ Halaman Sengaja Dikosongkan ”

#### 4.1.5. Segmen 5 (Titik E – Titik F)

Segmen kelima merupakan Titik E – Titik F. Titik E terletak pada Kali Wonokromo (Jalan Raya Kedung Baruk) setelah outlet drainase Kedung Baruk dan Titik F terletak pada jembatan MERR. Berada pada garis lintang  $7^{\circ}18'33.76''\text{S}$  dan garis bujur  $112^{\circ}46'28.15''\text{S}$ . Panjang segmen ini adalah 1,2 km. Segmen ini di bagi berdasarkan adanya buangan domestik dari permukiman Kedung Baruk dan buangan pusat perkantoran. Titik F merupakan hilir dari Kali Wonokromo. Peta segmen 5 dapat dilihat pada Gambar 4.11 berikut.

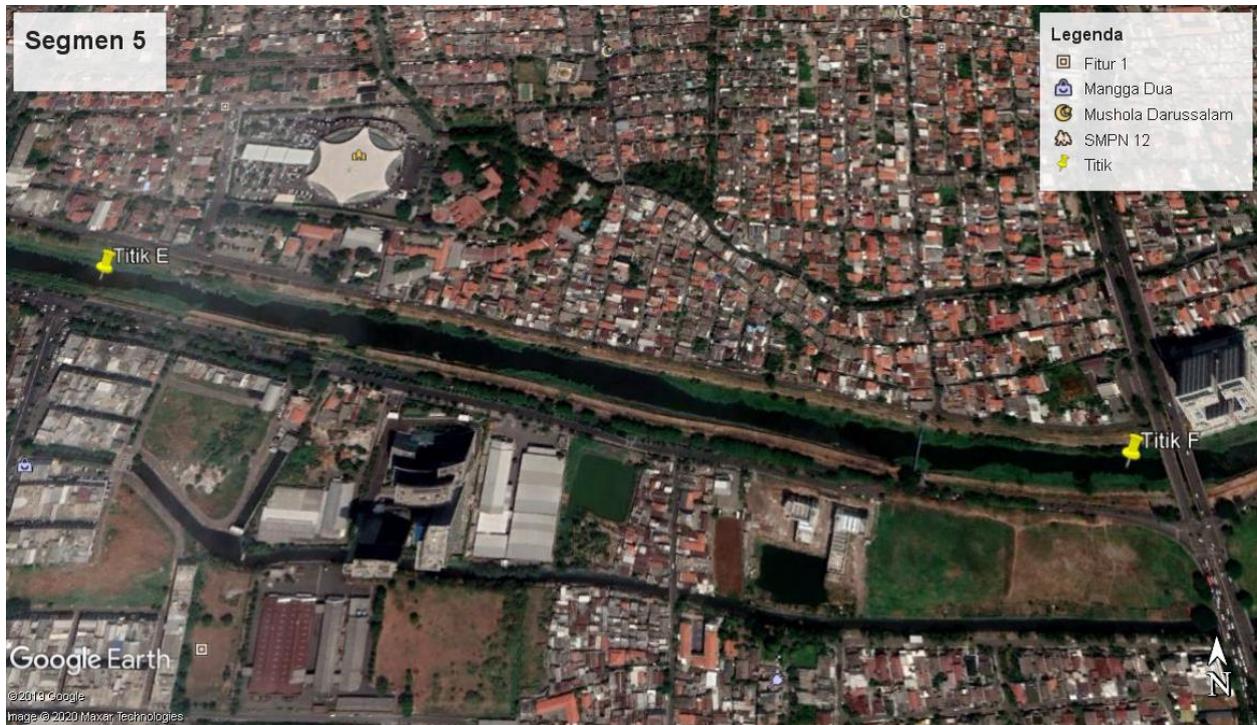
- Hidrogeometri Sungai

Lokasi sampling segmen 5 memiliki lebar sungai rata-rata 55 m dan kedalaman sungai mencapai 3,1 m. Air sungai memiliki kecepatan 0,1 m/det dan debit aliran rata-rata 13,55 l/det. Berikut adalah kondisi eksisting sungai pada Gambar 4.10.



**Gambar 4.10 Kondisi Eksisting Sungai Segmen 5**

“ Halaman Sengaja Dikosongkan ”



**Gambar 4.11 Segmen Kali Wonokromo 5**  
*Sumber : Google Earth Tahun 2020*

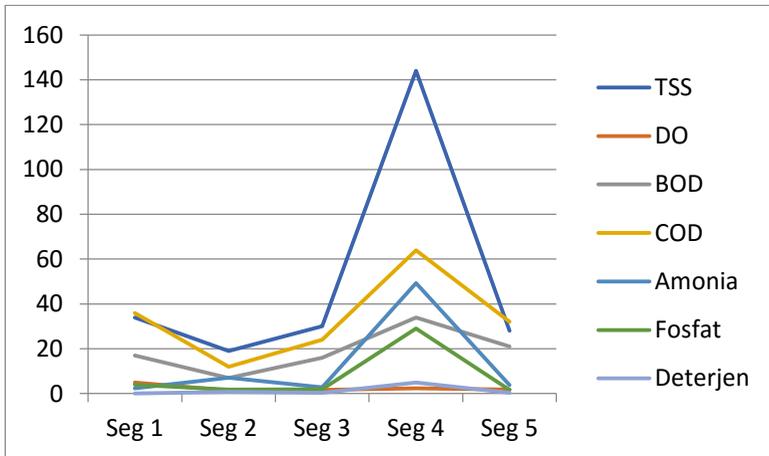
“ Halaman Sengaja Dikosongkan ”

Sedangkan untuk penerapan model dinamik diperlukan kualitas air Kali Wonokromo yang dapat dilihat pada Tabel 4.2. dan Gambar Grafik 4.12berikut.

**Tabel 4.2 Hasil Analisa Kualitas Air Kali Wonokromo**

No	Segmen	TSS mg/L	DO mg/L	BOD mg/L	COD mg/L	Amonia mg/L	Fosfat mg/L	Deterjen ug/L
1	Segmen 1	34,00	4,88	17,00	36,00	2,34	4,01	0,04
2	Segmen 2	19,00	1,37	7,00	12,00	7,14	1,73	0,82
3	Segmen 3	30,0	1,64	16,00	24,00	2,78	1,90	0,31
4	Segmen 4	144,0	2,37	34,00	64,00	49,25	29,05	4,92
5	Segmen 5	28,00	1,78	21,00	32,00	3,79	1,60	0,35

*Sumber : Hasil Analisa*



**Gambar 4.12 Grafik Kualitas Air Kali Wonokromo**

## 4.2. Pembuatan Formulasi Model

Pembuatan formulasi model dinamik pada Kali Wonokromo untuk mengetahui kualitas air sungai terdiri dari pembuatan struktur model dan struktur *casual loop* menggunakan *software* STELLA 9.1.3. Pembuatan *casual loop* dan struktur model menggambarkan kondisi lapangan di tempat penelitian dan lingkungan sekitarnya.

Model Dinamik pada penelitian ini terdiri dari 1 model dan 7 sub model (parameter). Maksud dari pembagian beberapa sub model ini untuk memudahkan pekerjaan, pemahaman sistem, dan rinci dalam menganalisis serangkaian hubungan antar variabel dalam konteks tertentu.

Identifikasi variabel pencemaran yang mempengaruhi parameter TSS, BOD, COD, DO, amonia, fosfat dan deterjen pada Kali Wonokromo merupakan tahap awal konseptualisasi sistem. Tujuan identifikasi variabel yaitu untuk memperdalam pemahan sistem model.

Pada variabel model terdapat beberapa variabel yaitu varibel parameter pencemar, variabel sumber pencemar dan variabel hasil pencemaran. Varibel parameter pencemar terdiri dari parameter TSS, BOD, COD, DO, amonia, fosfat dan deterjen, variabel ini didefinisikan sebagai variabel yang berisi nilai konsentrasi parameter pencemar. Variabel sumber penghasil limbah pencemar terdiri dari Penduduk, variabel ini didefinisikan sebagai variabel yang menjelaskan siapa penghasil limbah. Variabel Penduduk berasal dari jumlah penduduk sekitar daerah penelitian yang berjarak kurang lebih 500m, variabel ini akan menghasilkan limbah domestik. Variabel Penduduk juga menyumbang untuk limbah perekonomian yang melakukan kegiatan jual beli di fasilitas ekonomi di sekitardaerah penelitian variabel ini akan menghasilkan limbah perekonomian. Variabel Penduduk juga menyumbang untuk limbah perkantorandan perindustrian, variabel ini akan menghasilkan limbah perkantoran dan limbah industri. Variabel hasil pencemaran terdiri dari limbah domestik, limbah perekonomian, limbah perkantoran dan limbah industri. Penjelasan variabel dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

**Tabel 4.3 Identifikasi Variabel Terkait Model**

No	Variabel	Definisi	Unit
1	TSS	Konsentrasi TSS Kali Wonokromo	mg/L
2	BOD	Konsentrasi BOD Kali Wonokromo	mg/L
3	COD	Konsentrasi COD Kali Wonokromo	mg/L
4	DO	Konsentrasi DO Kali Wonokromo	mg/L
5	Amonia	Konsentrasi Amonia Kali Wonokromo	mg/L
6	Fosfat	Konsentrasi Fosfat Kali Wonokromo	mg/L
7	Deterjen	Konsentrasi Deterjen Kali Wonokromo	mg/L
8	Penduduk	Jumlah penduduk yang bermukim di sekitar Kali Wonokromo	Orang
9	PBP Domestik	Jumlah potensi beban pencemar dari limbah domestik	gr/hari
10	PBP Industri	Jumlah potensi beban pencemar dari limbah Industri	gr/hari

*Sumber: Hasil Analisa*

**Tabel 4.4 Lanjutan Tebel Identifikasi Variabel Terkait Model**

No	Variabel	Definisi	Unit
11	PBP Perekonomian	Jumlah potensi beban pencemar dari limbah fasilitas perekonomian	gr/hari
12	PBP Perkantoran	Jumlah potensi beban pencemar dari limbah fasilitas perkantoran	gr/hari
13	TBP TSS	Jumlah total beban pencemar dari parameter TSS	gr/hari
14	TBP BOD	Jumlah total beban pencemar dari parameter BOD	gr/hari
15	TBP COD	Jumlah total beban pencemar dari parameter COD	gr/hari
16	TBP DO	Jumlah total beban pencemar dari parameter DO	gr/hari
17	TBP Amonia	Jumlah total beban pencemar dari parameter Amonia	gr/hari
18	TBP Fosfat	Jumlah total beban pencemar dari parameter Fosfat	gr/hari
19	TBP Deterjen	Jumlah total beban pencemar dari parameter Deterjen	gr/hari
20	Kualitas Air Sungai	Nilai kualitas air sungai	gr/L/hari

*Sumber: Hasil Analisa*

#### 4.2.1. Pembuatan Struktur Model

Model adalah bentuk sederhana dari sebuah obyek dan situasi untuk menemukan perubahan serta hubungan antara perubahan dalam sistem berdasarkan hasil dari pendekatan. Masukan atau Input yang masuk ke dalam sebuah sistem akan mempengaruhi keberlanjutan pengendalian, input tersebut adalah input lingkungan, input terkendali dan input tidak terkendali. Input lingkungan mencakup peraturan dan perundang-undangan. Input terkendali adalah masukan yang dapat dikendalikan pelaksanaan manajemennya dalam sistem tersebut dan dapat menghasilkan keluaran yang dikehendaki. Input tidak terkendali adalah masukan yang tidak dapat dikendalikan.

Variabel-variabel yang mencakup input terkendali merupakan hasil identifikasi dan analisis dalam membangun sistem. Sedangkan variabel input tidak terkendali yaitu limbah yang dihasilkan oleh sebuah sumber, baik *pointsource* atau *non-pointsource*. Pada hubungannya input terkendali dan input tidak terkendali akan menghasilkan output yang dikehendaki atau tidak dikehendaki yang dapat digunakan untuk menilai kinerja sebuah sistem.

Model pencemaran pada kali Wonokromo disusun dalam satu kesatuan model untuk mengetahui hubungan antar tiap parameter pencemaran kualitas air Kali Wonokromo.

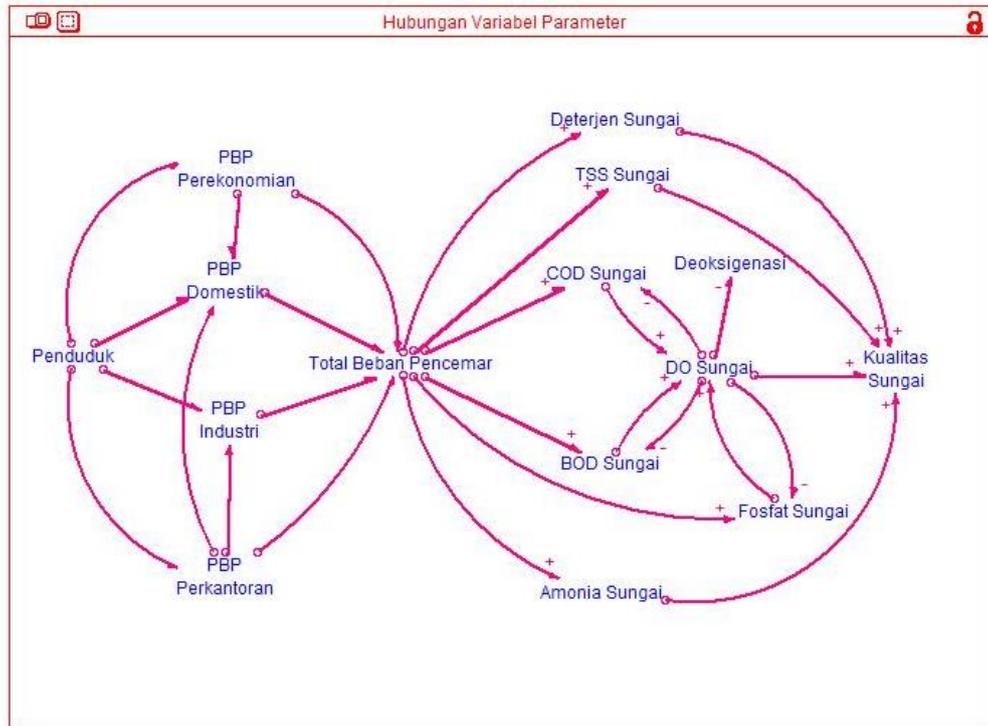
#### 4.2.2. Diagram *Casual Loop*

Diagram *casual loop* adalah diagram yang menunjukkan hubungan sebab akibat serta keterkaitan antar variabel. Hubungan sebab akibat dan keterkaitan antar variabel akan digambarkan oleh anak panah. Anak panah bernilai positif jika hubungan antar variabel berbanding lurus, sedangkan jika anak panah bernilai negatif maka hubungan antar variabel berbanding terbalik. Diagram *Casual Loop* pada sistem ditunjukkan dalam Gambar 4.13.

Sistem dinamik adalah sebuah metodologi penghampiran terhadap realitas sistem permasalahan pada dunia nyata yang berbasis pada simulasi program komputer. Sistem dinamik dapat dijadikan alternatif metodologi dalam memprediksi perilaku dalam realitas sistem nyata.

Tujuan dari sistem dinamik adalah untuk memperoleh gambaran kerja suatu sistem nyata. Permasalahan yang timbul dalam suatu sistem tidak dapat dilihat secara nyata dari adanya penyebab atau pengaruh dari luar melainkan disebabkan oleh struktur internal sistem itu sendiri. Menurut Shusil (1992) fokus utama dalam sistem dinamik adalah pemahaman tentang sistem sehingga pemecahan masalah memberikan umpan balik terhadap sistem itu sendiri. *Feedback loop* atau *casual loop* dinyatakan dalam konsep stok (*stock*) dan aliran (*flow*). *Casual loop* menyatakan suatu situasi X dapat mempengaruhi Y dan situasi Y dapat mempengaruhi X yang mungkin dapat melalui beberapa rangkaian rantai hubungan sebab akibat. Situasi yang saling mempengaruhi antara X dan Y tidak dapat dipelajari secara terpisah. Konsep *stock* dan *flow* menerangkan bahwa komponen sistem bersifat akumulasi yaitu *stock* dan bersifat mengalir yaitu *flow*.

Model merupakan perumusan matematika dari suatu fenomena alam (fisik/kimia/biologi), sehingga jika dimasukkan ke dalam data penunjang, kemudian dihitung dengan metode perhitungan tertentu akan menghasilkan gambaran proses sistem tersebut. Kelebihan model adalah dapat digunakan sebagai saran simulasi, sehingga dengan model dapat memperkirakan, memprediksi dan mempelajari berbagai kemungkinan dalam suatu skenario sistem yang diterapkan dalam model. Proses *trial and error* dapat dilakukan pada model yang diperuntukan menggantikan dunia nyata atau untuk menghasilkan kebijakan yang tepat, akurat dan dapat di pertanggung jawabkan dari waktu ke waktu. Dengan demikian dampak dan resiko yang dihasilkan suatu sistem akan di perbaiki dengan kebijakan, juga dapat mengurangi kerugian dari hal yang tidak diinginkan pada dunia nyata sekecil-kecilnya.



**Gambar 4.13 Diagram *Casual Loop***

“ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan ”

### 4.3. Aspek Teknis Model

Aspek teknis terdiri dari pembuatan formulasi model dinamik antara tiap variabel yang mempengaruhi kualitas air sungai. Pada formulasi ini faktor parameter TSS, BOD, COD, DO, amonia, fosfat dan deterjen menentukan model pada air limbah (pencemar) adapun faktor lain yaitu reaerasi, deoksigenasi dan transmisi air juga menentukan kualitas air Kali Wonokromo. *Running model* dan simulasi prediksi kondisi air sungai dapat digambarkan hingga beberapa tahun ke depan. Struktur model aspek teknis dapat dilihat pada Gambar 4.14 sampai pada Gambar 4.18.

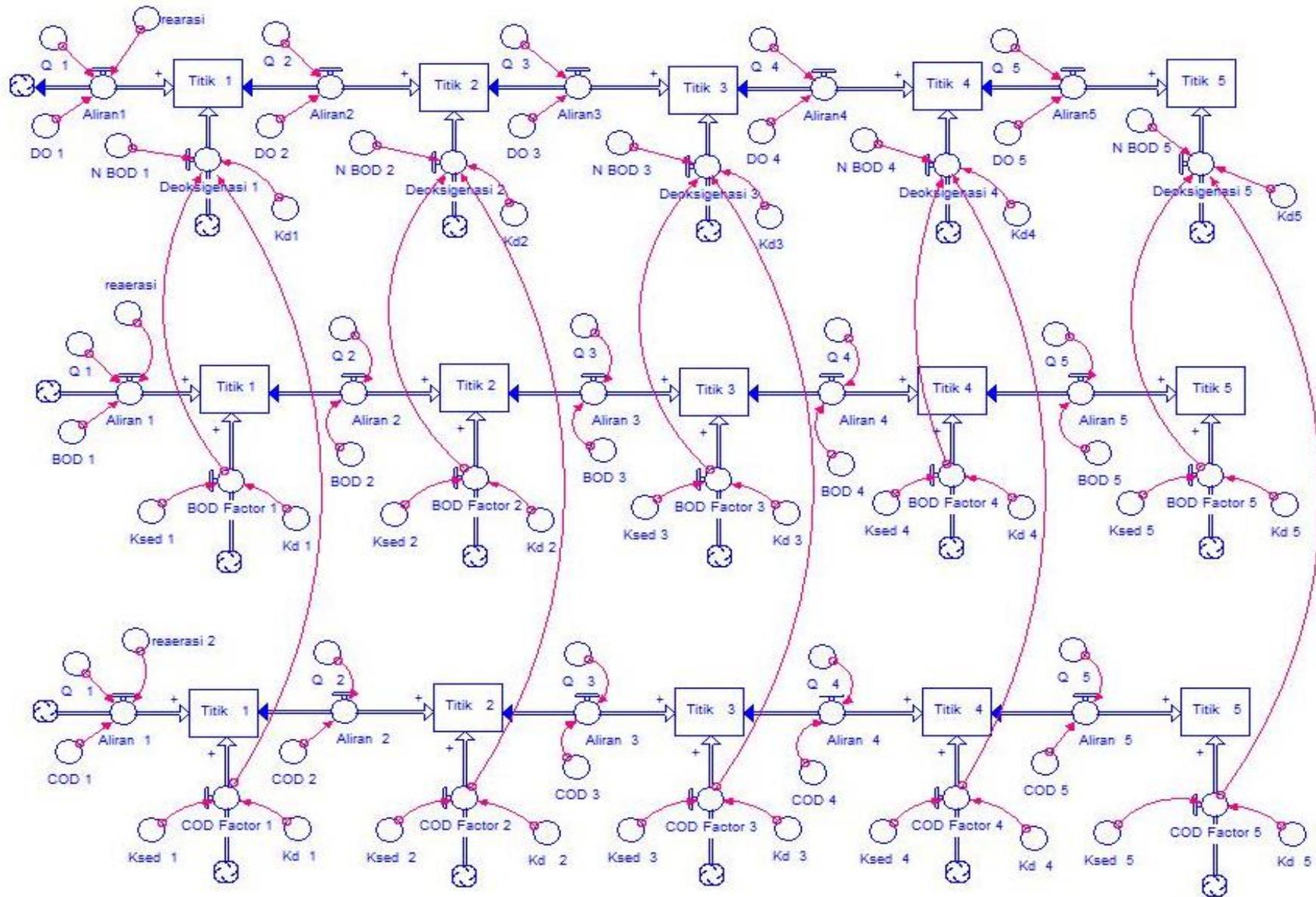
Pada *software* STELLA struktur model ini dibuat pada layar model. Berikut pada Tabel 4.5 merupakan data nilai input yang digunakan pada model.

**Tabel 4.5 Data Nilai Input Pada Model**

Variabel	Nilai	Satuan
Q Seg.1	16,30	m <sup>3</sup> /s
Q seg.2	16,10	m <sup>3</sup> /s
Q Seg.3	15,94	m <sup>3</sup> /s
Q Seg.4	15.,0	m <sup>3</sup> /s
Q Seg.5	13,55	m <sup>3</sup> /s
Kecepatan Seg.1	0,14	m/s
Kecepatan Seg.2	0,12	m/s
Kecepatan Seg.3	0,11	m/s
Kecepatan Seg.4	0,10	m/s
Kecepatan Seg.5	0,10	m/s
Kedalam seg.1	2,90	m
Kedalam seg.2	2,70	m
Kedalam seg.3	2,50	m
Kedalam seg.4	2,60	m
Kedalam seg.5	3,10	m

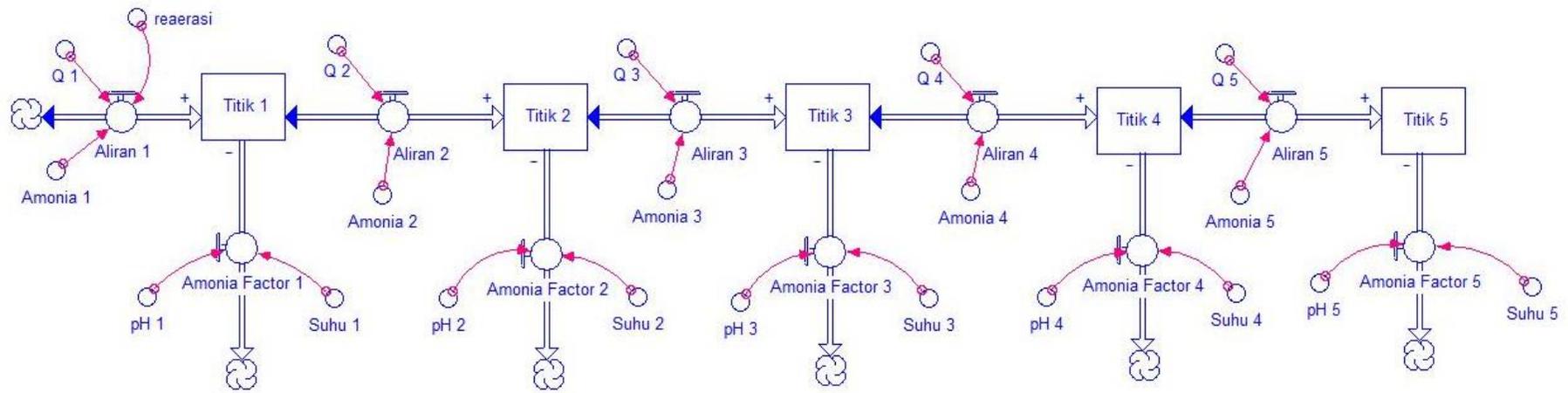
*Sumber : Data Hidrologi Balai Besar Wilayah Sungai Brantas tahun 2018*

“ Halaman Sengaja Dikosongkan ”

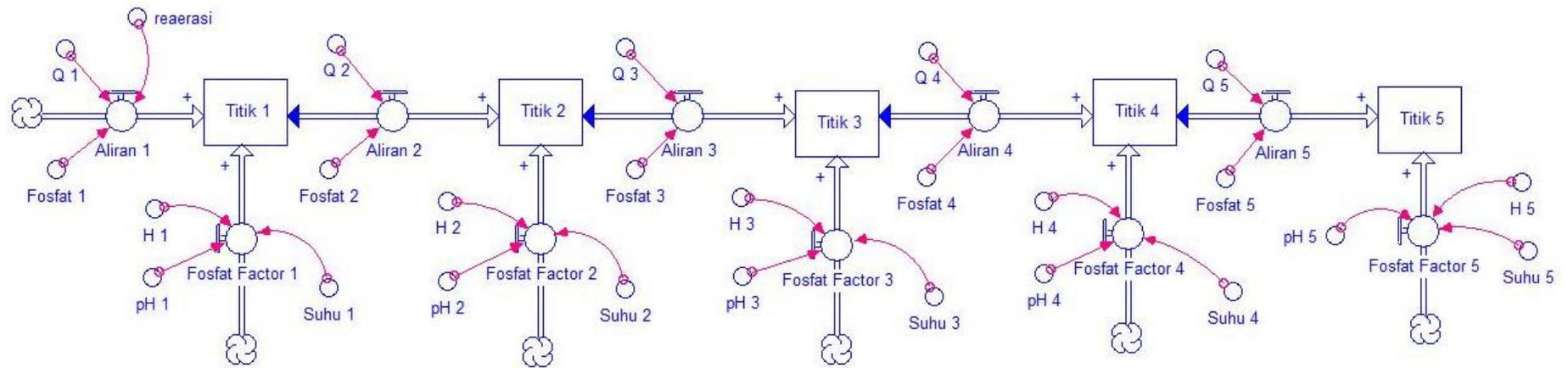


**Gambar 4.14 Aspek Teknis Antar Parameter DO, BOD dan COD**

“ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan ”

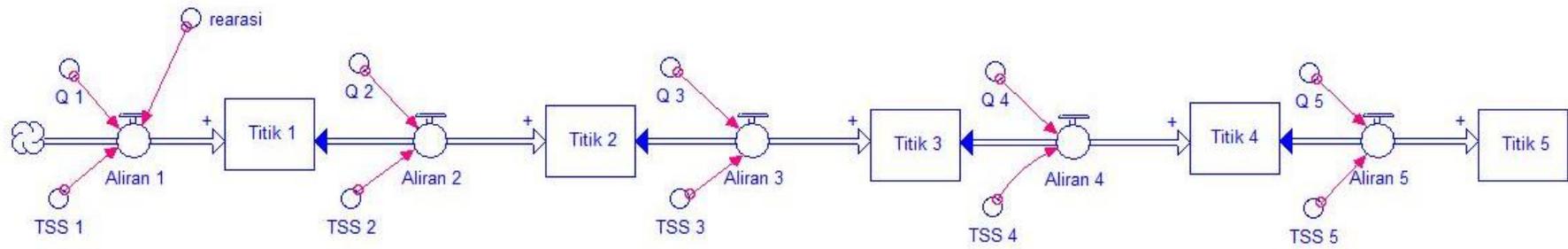


**Gambar 4.15 Aspek Teknis Parameter Amonia**

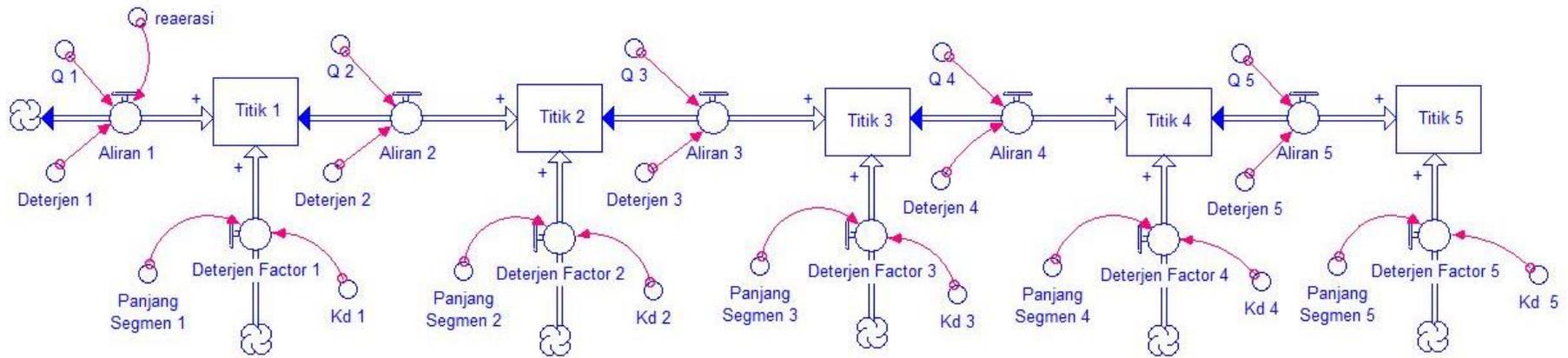


**Gambar 4.16 Aspek Teknis Parameter Fosfat**

“ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan ”



**Gambar 4.17 Aspek Teknis Parameter TSS**



**Gambar 4.18 Aspek Teknis Parameter Deterjen**

“ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan ”

Persamaan – persamaan matematika yang digunakan dalam struktur model aspek teknis pada Gambar 4.14 terdiri dari :

- DO, BOD dan COD sungai yang masuk ke segmen di hitung menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} \text{Flow masuk} &= [\text{DO}] \times Q \dots\dots\dots (4.1) \\ &= \text{mg/ltr} \times \text{ltr/det} \\ &= \text{mg/det} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume} \\ V &= Q \times t = Q \times l/v \dots\dots\dots (4.2) \\ V &= \text{ltr/det} \times \text{det} = \text{ltr} \end{aligned}$$

Dengan t(det) adalah waktu rata-rata yang diperlukan air untuk mengisi penuh segmen. Dalam hal ini diasumsikan sama dengan waktu yang diperlukan air untuk mencapai ujung segmen yang satu ke segmen yang lain secara horizontal, dengan l adalah jarak antara segmen (m) dan v adalah kecepatan rata-rata air mengalir (m/det). Pertambahan debit diasumsikan menambah kedalaman air.

- Deoksigenasi

Untuk meringkas struktur model, ketiga mekanisme deoksigenasi dijumlahkan dalam satu flow deoksigenasi. Dimana NBOD dan nilai Kd didapat dari perhitungan menurut Chapra (1997) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{NBOD} &= [\text{NH}_3\text{-N}] \times 4,57 \times \text{Kn} \dots\dots\dots (4.3) \\ &= \text{mg/l} \times 4,57 \times 1/\text{hari} \\ &= 4,57(5) \text{ mg/l.hari} \end{aligned}$$

Penentuan konstanta Nilai Kd dalam model untuk parameter BOD, COD dan DO menggunakan tabel nilai konstanta berdasarkan Chapra (1997). Pada model Kali Wonokromo nilai konstanta Kd berbeda di setiap titik nya karena tergantung kepada kondisi eksisting daerah titik sungai tersebut. Adapun nilai konstanta Kd pada setiap titik yaitu :

- Titik 1 = 0,20 l/hari
- Titik 2 = 0,35 l/hari
- Titik 3 = 0,20 l/hari
- Titik 4 = 0,20 l/hari

Pemodelan Streeter dan Phelps hanya terbatas pada dua fenomena yaitu proses pengurangan oksigen terlarut (deoksigenasi) akibat aktivitas bakteri dalam mendegradasikan bahan organik yang ada dalam air dan proses peningkatan oksigen terlarut (reaerasi/reoksigenasi) yang disebabkan turbulensi yang terjadi pada aliran sungai.

Angka konstanta kecepatan reoksigenasi  $K_a$  menunjukkan besarnya laju penyerapan oksigen atmosfer ke dalam perairan. Menurut rumus *O'Connor–Dobbins* (1989) besarnya nilai  $K_a$  di perairan bergantung pada kombinasi antara nilai kecepatan ( $v$ ) dan kedalaman ( $H$ ). Maka nilai  $K_a$  pada Kali Wonokromo di setiap titik akan berbeda-beda. Namun reaerasi pada Kali Wonokromo hanya terjadi pada segmen pertama, dikarenakan pada segmen ini terdapat pintu air yang mengakibatkan terjunan pada aliran air. Berikut adalah nilai  $K_a$  pada segmen pertama.

$$K_a = 3,95 \frac{v^{0,5}}{H^{1,5}} = 3,95 \frac{0,14^{0,5}}{2,90^{1,5}} = 0,29$$

#### 4.4. Running Model

Tahapan yang dilakukan pada *running* model terdiri dari verifikasi model, kalibrasi model dan validasi model.

##### 4.4.1. Verifikasi Model

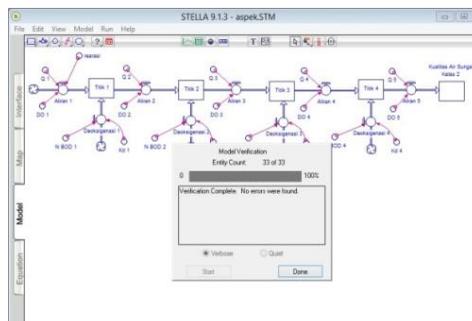
Verifikasi model dimaksudkan untuk memeriksa *error* yang terjadi pada model, sehingga model berfungsi sesuai dengan logika. Langkah awal dalam melakukan verifikasi model adalah dengan verifikasi unit. Verifikasi unit dimaksudkan untuk memeriksa formulasi (*equation*) dan satuan (*unit*) pada model yang telah dibuat. Cara verifikasi unit adalah dengan membuka

Toolbar menu *Run* kemudian pilih *Check Units*. Hasil verifikasi model jika tidak terjadi *error* dan bersifat konsisten adalah seperti Gambar 4.19.



**Gambar 4.19 Hasil Verifikasi Model**

Setelah verifikasi unit telah sukses, makselanjutnya di lakukan verifikasi satuan dan struktur model. Langkah-langkah verifikasi, tutup dulu file struktur model yang telah dibuat kemudian buka lagi filenya klik open bersamaan dengan *shift*, maka akan keluar jendela *model diagnostic options* seperti pada Gambar 4.19 kemudian beri tanda centang pada *reparse all equations* dan *verify/repair model* lalu tekan OK. Aplikasi Stella akan menampilkan halaman model, kemudian buka toolbar pilih menu *start* untuk memulai verifikasi model. Jika hasil verifikasi model telah sukses maka akan terlihat seperti Gambar 4.20 berikut.



**Gambar 4.20 Hasil Verifikasi Model**

#### 4.4.2. Validasi Model

Validasi struktur model merupakan proses validasi utama dalam berfikir sistem. Validasi bertujuan untuk melihat sejauh mana struktur model yang dibuat dengan struktur dalam kenyataan yang berkaitan dengan sistem, variabel pembentuk dan asumsi mengenai interaksi yang terjadi di dalam sistem. Hasil dari model ini akan dibandingkan dengan model aktual yang tidak jauh berbeda, sehingga dapat diartikan bahwa model telah tervalidasi.

Uji parameter model ini dilakukan dengan melihat 5 segmen pencemaran pada Kali Wonokromo dan hasil akhir dari kualitas air sungai tersebut atau hasil akhir kualitas pada hilir sungai. Hasil harus saling berhubungan satu sama lain serta sesuai dengan logika yaitu hasil data berupa data linear. Perbandingan antar model dengan sistem nyata merupakan perbandingan statistik dan perbedaan didalam performan harus diuji untuk signifikan statistik.

Pada penelitian ini parameter model didasarkan pada parameter TSS, BOD, COD, DO, amonia, fosfat dan deterjen. Grafik pada model untuk sumbu X adalah nilai pencemaran limbah pada Kali Wonokromo, sedangkan sumbu Y adalah waktu dari penelitian yaitu 12 bulan dan dibagi menjadi 12 data. Perilaku setiap model berbeda-beda tergantung pada data hasil analisis yang telah dilakukan.

Pada penelitian ini hasil data akan dikatakan valid atau konsisten jika data telah dilakukan uji dengan perhitungan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Perhitungan ini merupakan uji statistik dan perbandingan secara visual (grafik) yang keluaran model dengan data aktual (Handoko, 2005). Nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) merupakan rata-rata absolut dari kesalahan terhadap prediksi model.

MAPE < 5% = Sangat Tepat

5% < MAPE < 10% = Tepat

MAPE > 10% = Tidak Tepat

Didapatkan nilai MAPE pada setiap data hasil model berbeda-beda, berikut pada Tabel 4.6 adalah hasil perhitungan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) pada setiap parameter.

**Tabel 4.6 Nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) Pada Model**

No.	Parameter	Perhitungan	Nilai MAPE
1	TSS	$0,0615 / 12 \times 100\%$	1%
2	BOD	$0,2990 / 12 \times 100\%$	3%
3	COD	$0,6107 / 12 \times 100\%$	2,5%
4	DO	$0,4072 / 12 \times 100\%$	5,1%
5	Amonia	$0,8981 / 12 \times 100\%$	7%
6	Fosfat	$0,6964 / 12 \times 100\%$	6%
7	Deterjen	$0,5786 / 12 \times 100\%$	5%

Sumber : Hasil Analisa

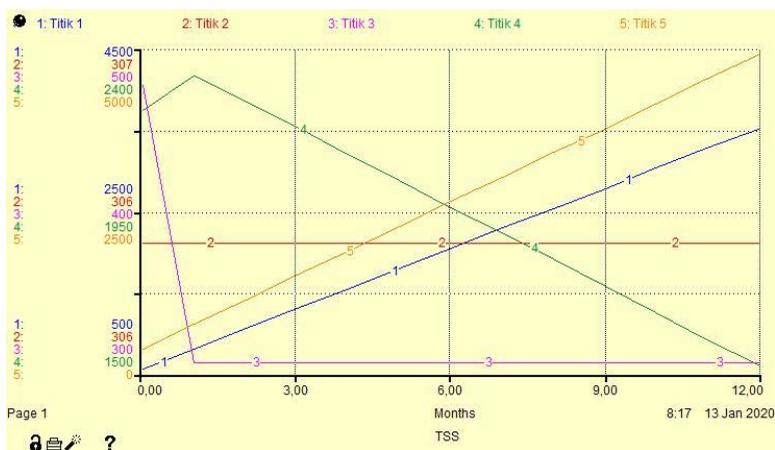
#### 4.5. Simulasi Model

Model yang telah dibuat digunakan untuk memprediksi keadaan sungai Kali Wonokromo selama 1 tahun kedepan. Model tersebut merupakan representasi dari perilaku parameter pencemar sungai yaitu TSS, DO, BOD, COD, amonia, fosfat dan deterjen. Hasil kualitas air sungai yang telah diambil di beberapa segmen akan diolah dalam program STELLA, hasil dari pengolahan data tersebut akan menghasilkan skenario-skenario untuk menentukan kebijakan dalam pengelolaan sungai yang baik dan terpadu. Berikut adalah hasil pengolahan data kualitas air Kali wonokromo.

##### a. Parameter TSS

Pada penelitian ini parameter TSS mengalami kenaikan disetiap segmen dari hulu sungai hingga hilir sungai. Pada segmen 4 terlihat nilai TSS paling tinggi dibanding segmen lainnya, yaitu sebesar 74,40 mg/L. Hal ini dapat terjadi karena di segmen 4 diketahui mendapat *influent* TSS yang tinggi dibandingkan segmen lainnya. Pada segmen 4 tingginya nilai TSS disebabkan oleh buangan limbah dari industri yang berada

disekitar segmen sungai 4 dan peningkatan konsentrasi padatan terlarut pada korelasi secara *positive* dengan nilai kekeruhan dan berkorelasi negative dengan kelarutan oksigendari buangan limbah industri yang mengandung nilai kimia yang tinggi. Pada segmen 2 terlihat nilai TSS paling rendah dibanding segmen lainnya, yaitu sebesar 10,20 mg/L. Hal ini dapat terjadi karena di segmen 2 diketahui karena mendapat *influent* TSS yang paling rendah. Adapun nilai TSS pada segmen 4 juga mengalami penurunan, hal ini terjadi karena pengaruh debit air sungai yang tinggi karena pada segmen ini terdapat drainase. Rata-rata nilai TSS pada sungai Kali Wonokromo sebesar 26,3mg/L. Dari grafik Gambar 4.21 terlihat bahwa hasil grafik terus naik atau linear maka hasil data valid.

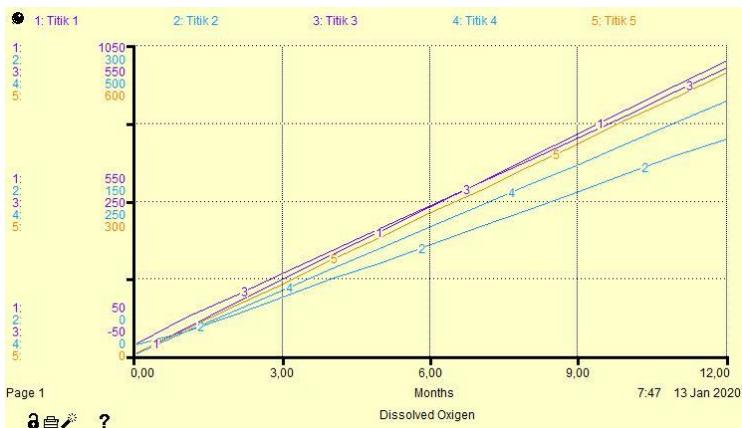


**Gambar 4.21 Grafik Hasil Analisis Model Parameter TSS**

#### b. Parameter DO

Pada penelitian ini parameter DO mengalami kenaikan disetiap segmen dari hulu sungai hingga hilir sungai. Tetapi pada segmen 4 terlihat nilai DO paling rendah dibanding segmen lainnya, yaitu sebesar 1,87 mg/L. Hal ini dapat terjadi karena di segmen 4 diketahui mendapat *influent* limbah domestik dan limbah industri yang tinggi dibandingkan segmen

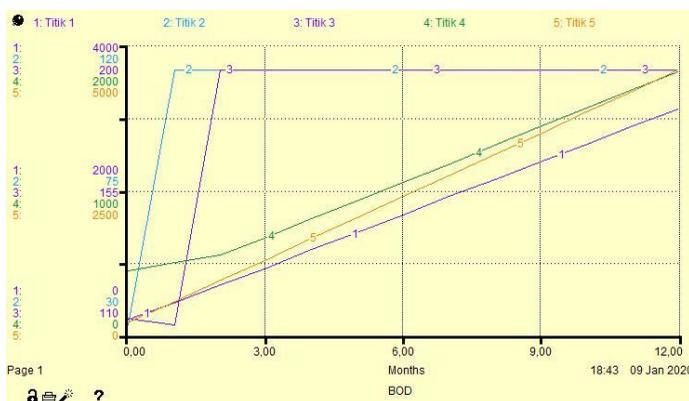
lainnyasehinggamedapatkanpengaruhdariparameterpencemarlai nyaituBODdanCOD. AdapunjugapengaruhyangmenyebabkanrendahnyanilaiDOyaituke cepatanaliransungai.Oksigenterarut(DO) merupakanindikatorpentingpadakualitasairkarenaoksigenterarut berperandalamprosesoksidasiandanreduksibahanorganikdananorga nik. RendahnyanilaiDO menunjukkan bahwa air sungai Kali Wonokromo sudah tercemar.Pada sungaiyangmemilikikecepatantinggimenyebabkanoksigenpada lapisanpermukaanairakanmengalamipertukarandengan lapisanbagian bawah dan berakibat naiknya oksigen terlarut dalam sungai. Pada segmen 1 terlihat nilai DO paling tinggi dibanding segmen lainnya, yaitu sebesar 7,15 mg/L. Hal ini disebabkan karena pada segmen pertama mendapatkan pengaruh faktor aerasi yang sangat besaryang berasal dari terjunan pintu air Jagir Wonokromo.Rata-rata nilai DO pada sungai Kali Wonokromo sebesar 4,79mg/L. Dari grafik Gambar 4.22 terlihat bahwa hasil grafik terus naik atau linear maka hasil data valid.



**Gambar 4.22 Gafik Hasil Analisis Model Parameter DO**

c. Parameter BOD

Pada penelitian ini parameter BOD mengalami kenaikan disetiap segmen dari hulu sungai hingga hilir sungai. Menurut Suwari (2011) besaran nilai BOD untuk mengindikasikan pencemaran organik di perairan. Semakin tinggi bahan organik maka akan semakin banyak oksigen yang diperlukan, sehingga nilai BOD tinggi yang mengindikasikan tingginya tingkat pencemaran. Pada segmen 4 terlihat nilai BOD paling tinggi dibanding segmen lainnya, yaitu sebesar 16,58 mg/L. Hal ini disebabkan karena pada segmen 4 mendapatkan buangan organik dari limbah hasil industri dan domestik disekitar segmen yang menyebabkan BOD sungai meningkat. Pada segmen 2 terlihat nilai BOD paling rendah dibanding segmen lainnya, yaitu sebesar 1,09 mg/L. Hal ini disebabkan karena pada segmen 2 mengalami kekeruhan yang cukup tinggi hasil buangan *effluent* PDAM Ngagel Tirto. Rata-rata nilai BOD pada sungai Kali Wonokromo sebesar 6,98 mg/L. Dari grafik Gambar 4.23 terlihat bahwa hasil grafik terus naik atau linear maka hasil data valid.



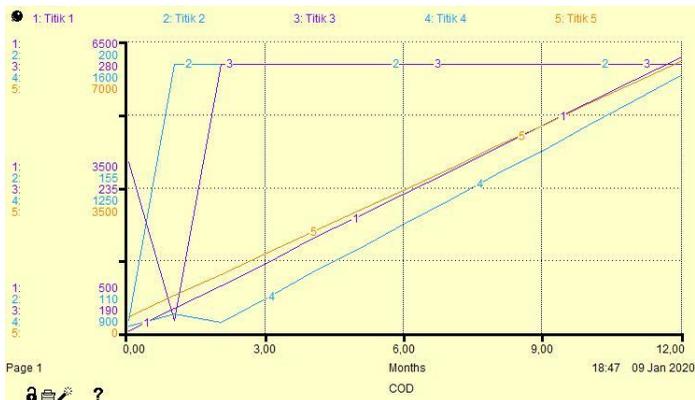
**Gambar 4.23 Grafik Hasil Analisis Model Parameter BOD**

#### d. Parameter COD

Pada penelitian ini parameter COD mengalami kenaikan dan penurunan disetiap segmen yang berbeda-beda dari hulu sungai hingga hilir sungai. Kebutuhan oksigen kimia

(COD) menunjukkan jumlah oksigen total yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologis (*biodegradable*) maupun yang sukar didegradasi (*non-biodegradable*). Menurut Alaerts (2008) hal ini memperlihatkan bahwa disamping terdapat bahan-bahan pencemar organik yang dapat dibiodegradasi oleh mikroorganisme terdapat juga bahan-bahan yang tidak dapat didegradasi oleh mikroorganisme. Menurut Raja (2015) yang menyatakan bahwa nilai COD lebih tinggi dari nilai BOD mengindikasikan bahwa keberadaan bahan yang dapat teroksidasi secara kimia adalah bahan *non-biodegradable*.

Pada segmen 4 terlihat nilai COD paling tinggi dibanding segmen lainnya, yaitu sebesar 30,40 mg/L. Hal ini disebabkan karena pada segmen tersebut mendapatkan buangan *non-biodegradable* yang tinggi menyebabkan nilai COD sungaimeningkat, terutama karena adanya buangan limbah industri di daerah tersebut. Pada segmen 3 terlihat nilai COD paling rendah dibanding segmen lainnya, yaitu sebesar 3,77 mg/L. Hal ini disebabkan karena pada segmen 3 tidak mendapatkan buangan *non-biodegradable* yang tinggi. Rata-rata nilai COD pada sungai Kali Wonokromo sebesar 14,19 mg/L. Dari grafik Gambar 4.24 terlihat bahwa hasil grafik terus naik atau linear maka hasil data valid.

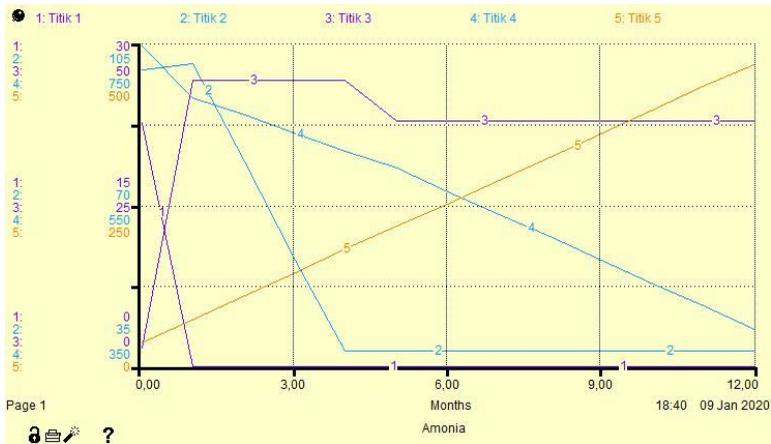


**Gambar 4.24** Grafik Hasil Analisis Model Parameter COD

#### e. Parameter Amonia

Pada penelitian ini parameter amonia mengalami kenaikan dan penurunan. Menurut Suparno (2016) kandungan amonia sangat dipengaruhi oleh keberadaan oksigen terlarut. Amonia ada dalam jumlah yang relatif kecil jika dalam perairan memiliki kandungan oksigen yang tinggi, sehingga kandungan amonia dalam perairan bertambah seiring dengan bertambahnya kedalaman.

Pada segmen 4 terlihat nilai Amonia paling tinggi dibanding segmen lainnya, yaitu sebesar 22,81 mg/L. Hal ini disebabkan karena pada segmen tersebut mendapatkan buangan limbah industri yang tinggi menyebabkan nilai amonia meningkat. Pada segmen 3 terlihat nilai amonia paling rendah dibanding segmen lainnya, yaitu sebesar 0,76 mg/L. Hal ini disebabkan karena pada segmen 3 tidak mendapatkan buangan limbah industri dan didominasi oleh buangan limbah domestik. Rata-rata nilai amonia pada sungai Kali Wonokromo sebesar 5,87 mg/L. Dari grafik Gambar 4.25 terlihat bahwa hasil grafik kualitas air terus naik namun pada segmen 2 jumlah pencemaran amonia menurun drastis.



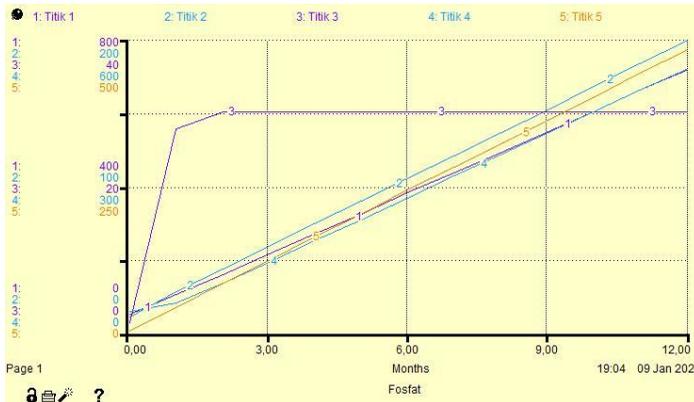
**Gambar 4.25 Grafik Hasil Analisis Model Parameter Amonia**

f. Parameter Fosfat

Pada penelitian ini parameter fosfat mengalami kenaikan disetiap segmen dari hulu sungai hingga hilir sungai. Hal ini menurut Mrantadani (2016) dengan tingginya nilai Fosfat pada perairan dapat menyebabkan nilai oksigen terlarut (DO) menurun, yang mengakibatkan pertumbuhan tanaman atau ganggang tidak terbatas (*eutrof*) sehingga dapat mengurangi jumlah oksigen terlarut. Maka dengan rendahnya nilai oksigen terlarut (DO) kualitas air akan menurun.

Pada segmen 4 terlihat nilai fosfat paling tinggi dibanding segmen lainnya, yaitu sebesar 3,34 mg/L. Hal ini disebabkan karena pada segmen tersebut mendapatkan buangan limbah industri yang tinggi yang menyebabkan nilai fosfat sungai meningkat dan nilai DO turun. Pada segmen 3 terlihat nilai fosfat paling rendah dibanding segmen lainnya, yaitu sebesar 1,01 mg/L. Hal ini disebabkan karena pada segmen 3 didominasi oleh buangan limbah domestik, yang mengandung zat *biodegradable* yang tinggi. Sedangkan menurut Mrantadani (2016) fosfat berasal dari deterjen dalam limbah cair yang masuk melalui drainase dari buangan penduduk dan

industri yang menggunakan bahan deterjen yang mengandung fosfat. Rata-rata nilai fosfat pada sungai Kali Wonokromo sebesar 2,77mg/L. Dari grafik Gambar 4.26 terlihat bahwa hasil grafik kualitas air terus naik.

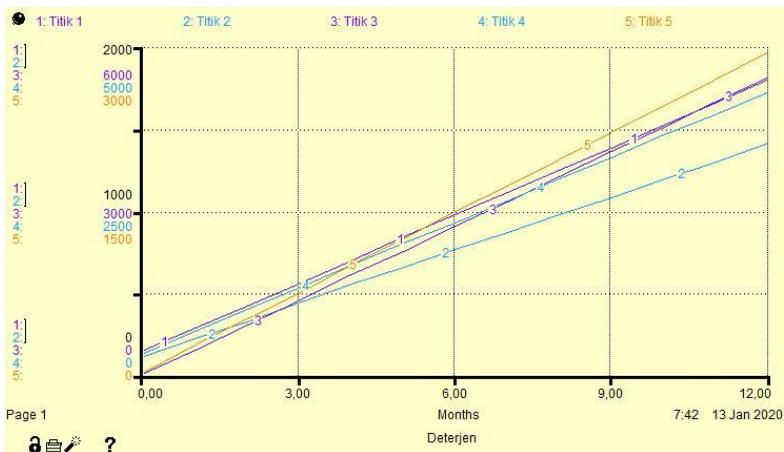


**Gambar 4.26** Grafik Hasil Analisis Model Parameter Fosfat

g. Parameter Deterjen

Pada penelitian ini parameter deterjen mengalami kenaikan disetiap segmen dari hulu sungai hingga hilir sungai. Menurut Fuad (2017) peningkatan kandungan deterjendipengaruhi kelimpahan diatom yang disebabkan oleh oksigen terlarut.

Pada segmen 4 terlihat nilai deterjen paling tinggi dibanding segmen lainnya, yaitu sebesar 668,32ug/L. Hal ini disebabkan karena pada segmen tersebut mendapatkan buangan limbah industri yang tinggi menyebabkan nilai deterjen sungai meningkat. Pada segmen 3 terlihat nilai deterjen paling rendah dibanding segmen lainnya, yaitu sebesar 221,46ug/L. Hal ini disebabkan karena pada segmen 3 tidak mendapatkan buangan limbah industri dan didominasi oleh buangan limbah domestik. Rata-rata nilai deterjen pada sungai Kali Wonokromo sebesar 381,11ug/L. Dari grafik Gambar 4.27 terlihat bahwa hasil grafik kualitas air terus naik atau linear maka hasil data valid.



**Gambar 4.27** Grafik Hasil Analisis Model Parameter Deterjen

Berdasarkan data hasil simulasi diatas maka data ditarik kesimpulan tentang kondisi kualitas air sungai wonokromo hingga satu tahun kedepan. Berikut pada Tabel 4.7 adalah data hasil simulasi.

**Tabel 4.7** Data Hasil Simulasi

Parameter	Baku Mutu	Nilai Parameter	Satuan	Keterangan
TSS	50	26,34	mg/L	Mencukupi
DO	4	4,79	mg/L	Melebihi
BOD	3	6,98	mg/L	Melebihi
COD	25	14,19	mg/L	Mencukupi
AMONIA	10	5,87	mg/L	Mencukupi
FOSFAT	0,2	2,77	mg/L	Melebihi
DETERJEN	200	381,11	ug/L	Melebihi

*Sumber: Hasil Analisa*

Dari Hasil analisis seperti pada Tabel 4.7 dinyatakan bahwa air Kali Wonokromo telah tercemar, ada beberapa parameter kualitas air yang melebihi baku mutu yaitu DO, BOD, fosfat, dan

dertegen untuk itu perlu pembuktian dengan metode IP untuk penetapan status mutunya.

#### 4.5.1. Penentuan Status Mutu Air

Indeks Pencemaran (IP)perlu dihitung setelah semua parameter pencemar pada Kali Wonokromo dianalisa. Metode indeks pencemaran akan membandingkan nilai parameter pencemar dengan baku mutu yang digunakan. Hasil perhitungan indeks pencemaran pada Kali Wonokromo tersaji dalam Tabel 4.8menunjukkan bahwa sepanjang sungai Kali Wonokromo berbeda-beda, berikut adalah persamaanrumus perhitungan indeks pencemaran:

$$PIj = \sqrt{\frac{(Ci/Lij)^2M + (Ci/Lij)^2R}{2}} \dots\dots\dots (4.4)$$

Keterangan :

- PIj = Indeks pencemaran
- Ci = Konsentrasi parameter kualitas air
- Lj = Konsentrasi parameter kualitas air berdasarkan baku mutu yang ditentukan
- M = Nilai maksimum
- R = Nilai rata-rata

Dari perhitungan dengan persamaan rumus diatas didapatkan hasil status kualitas air sungai. Perhitungan lengkap indeks pencemar sungai tersaji dalam tabel lampiran III. Berikut pada tabel 4.8 merupakan hasil status kualitas air Kali Wonokromo.

**Tabel 4.8 Hasil Nilai Indeks Pencemaran (IP)**

No	Segmen	Nilai IP	Keterangan
1	Segmen 1	3,82	Tercemar Ringan
2	Segmen 2	4,46	Tercemar Ringan
3	Segmen 3	5,81	Tercemar Sedang
4	Segmen 4	7,1	Tercemar Sedang
5	Segmen 5	3,76	Tercemar Ringan

*Sumber: Hasil Analisa*

Berdasarkan nilai indeks pencemaran Kali Wonokromo pada segmen 1 menghasilkan status sungai adalah tercemar ringan. Hal ini terjadi karena pada segmen tersebut merupakan hulu sungai dan tidak mendapatkan pencemaran yang tinggi, limbah pada segmen ini juga didominasi oleh limbah domestik.

Nilai indeks pencemaran Kali Wonokromo pada segmen 2 menghasilkan status sungai adalah tercemar ringan. Hal ini terjadi karena pada segmen tersebut hanya mendapatkan pencemaran dari pipa buangan PDAM Ngagel Tirto berupa limbah lumpur.

Nilai indeks pencemaran Kali Wonokromo pada segmen 3 menghasilkan status sungai adalah tercemar sedang. Hal ini terjadi karena pada segmen tersebut mendapatkan pencemaran yang cukup tinggi, diketahui pada daerah disekitar segmen ini merupakan daerah permukiman padat penduduk dan terdapat usaha kecil menengah. Limbah pada segmen ini didominasi limbah domestik.

Nilai indeks pencemaran Kali Wonokromo pada segmen 4 menghasilkan status sungai adalah tercemar sedang. Hal ini terjadi karena pada segmen tersebut mendapatkan pencemaran yang cukup tinggi, diketahui pada daerah disekitar terdapat beberapa industri yaitu pabrik kosmetik pabrik permen dan pabrik minuman dalam kemasan. Limbah pada segmen ini didominasi limbah industri.

Nilai indeks pencemaran Kali Wonokromo pada segmen 5 menghasilkan status sungai adalah tercemar ringan. Hal ini terjadi karena pada segmen tersebut tidak mendapatkan pencemaran yang tinggi, limbah pada segmen ini juga didominasi oleh limbah domestik.

#### **4.6. Analisis Daya Tampung**

Analisis daya tampung Kali Wonokromo dilakukan sepanjang sungai dikarenakan pada sungai ini telah mendapatkan masukan limbah yang besar dari kegiatan aktifitas manusia. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengidentifikasi daya tampung beban pencemaran serta mengindikasikan adanya pencemaran dan penurunan kualitas air.

Penentuan kualitas air dan daya tampung dilakukan dengan mendeskripsikan kondisi Kali wonokromo. Metode yang digunakan adalah dengan membandingkan data hasil model dengan standart kualitas air kelas II, sesuai peruntukan yang dibutuhkan. Perhitungan daya tampung menggunakan persamaan neraca massa, berikut adalah persamaan rumus perhitungan analisis daya tampung pencemaran.

$$CR = \frac{\sum Ci.Qi}{\sum Qi} \dots\dots\dots (4.5)$$

Keterangan :

CR = Konsentrasi rata-rata untuk aliran gabungan.

Ci = Konsentrasi pada aliran.

Qi = Debit aliran.

Dari perhitungan dengan persamaan rumus diatas didapatkan hasil daya tampung pencemaran pada setiap parameter. Berikut pada tabel 4.9 merupakan hasil status kualitas air Kali Wonokromo.

**Tabel 4.9 Hasil Daya Tampung Beban Pencemar**

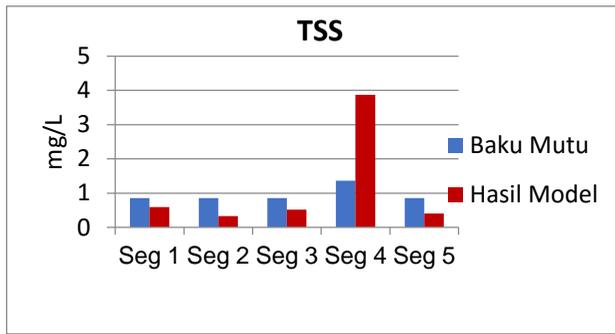
Parameter	Baku Mutu	Hasil				
		Seg.1	Seg.2	Seg.3	Seg.4	Seg.5
TSS	50	0,60	0,33	0,52	3,87	0,41
DO	4	0,23	0,12	0,12	0,10	0,15
BOD	3	0,21	0,04	0,12	0,86	0,22
COD	25	0,55	0,12	0,26	1,58	0,38
AMONIA	10	0,02	0,11	0,04	1,19	0,04
FOSFAT	0,2	0,17	0,05	0,03	0,17	0,09
DETERJEN	200	9,37	14,92	7,20	34,77	8,73

*Sumber: Hasil Analisa*

Berdasarkan dari hasil data diatas pada Kali Wonokromo kualitas air dengan parameter pencemar TSS memiliki trend daya tampung yang berbeda-beda pada setiap segmennya.

a. Parameter TSS

Berikut pada Gambar 4.28 grafik perbandingan hasil daya tampung pencemar Kali Wonokormo dengan baku mutu pada parameter pencemar TSS.

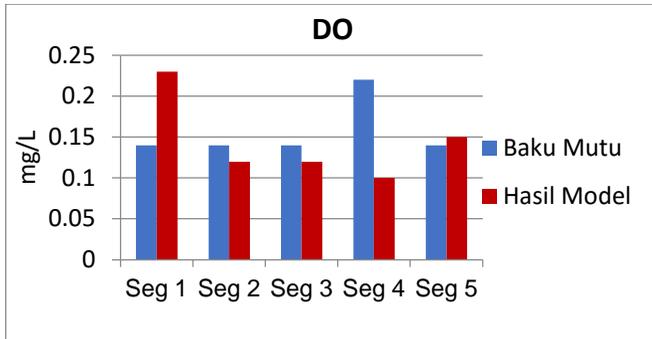


**Gambar 4.28 Grafik Perbandingan Daya Tampung Parameter TSS**

Pada grafik diatas menunjukkan bahwa pada segmen 4 nilai parameter TSS sudah melebihi daya tampung yang telah ditetapkan berdasarkan kualitas air kelas II. Sedangkan pada segmen lainnya nilai parameter TSS berada dibawah daya tampung yang telah ditetapkan.

b. Parameter DO

Berikut pada Gambar 4.29 grafik perbandingan hasil daya tampung pencemar Kali Wonokormo dengan baku mutu pada parameter pencemar DO.

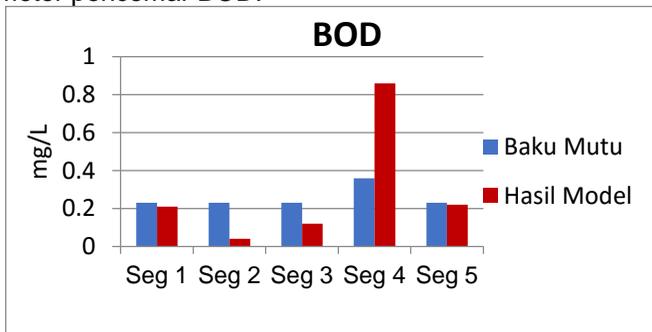


**Gambar 4.29 Grafik Perbandingan Daya Tampung Parameter DO**

Pada grafik diatas menunjukan bahwa pada segmen 1 dan segmen 5 nilai parameter DO sudah melebihi daya tampung yang telah ditetapkan berdasarkan kualitas air kelas II. Sedangkan pada segmen lainnya nilai parameter DO berada dibawah daya tampung yang telah ditetapkan.

c. Parameter BOD

Berikut pada Gambar 4.30 grafik perbandingan hasil daya tampung pencemar Kali Wonokormo dengan baku mutu pada parameter pencemar BOD.

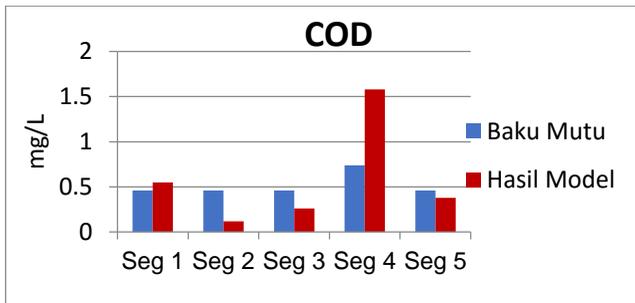


**Gambar 4.30 Grafik Perbandingan Daya Tampung Parameter BOD**

Pada grafik diatas menunjukkan bahwa pada segmen 1, parameter BOD sudah melebihi daya tampung yang telah ditetapkan berdasarkan kualitas air kelas II. Sedangkan pada segmen lainnya nilai parameter BOD berada dibawah daya tampung yang telah ditetapkan.

d. Parameter COD

Berikut pada Gambar 4.31 grafik perbandingan hasil daya tampung pencemar Kali Wonokormo dengan baku mutu pada parameter pencemar COD.

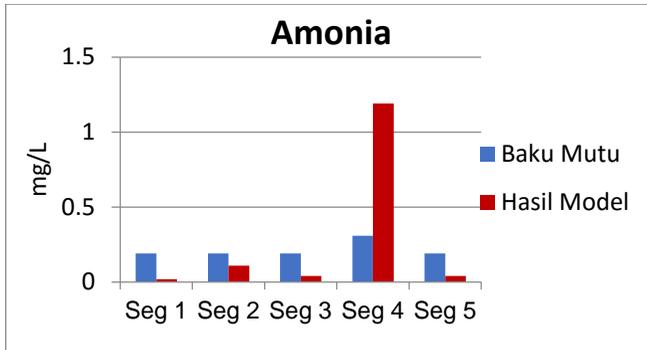


**Gambar 4.31 Grafik Perbandingan Daya Tampung Parameter COD**

Pada grafik diatas menunjukkan bahwa pada segmen 4 dan segmen 1, nilai parameter COD sudah melebihi daya tampung yang telah ditetapkan berdasarkan kualitas air kelas II. Sedangkan pada segmen lainnya nilai parameter COD berada dibawah daya tampung yang telah ditetapkan.

e. Parameter Amonia

Berikut pada Gambar 4.32 grafik perbandingan hasil daya tampung pencemar Kali Wonokormo dengan baku mutu pada parameter pencemar amonia.

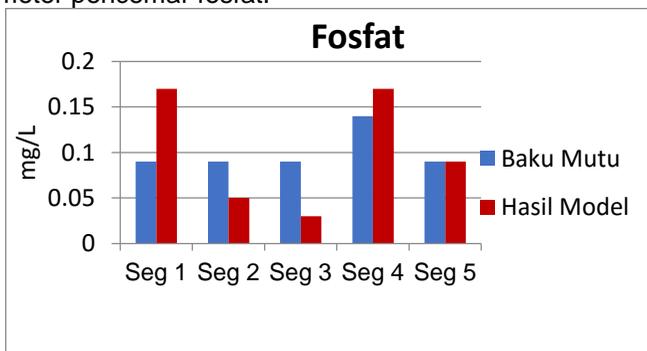


**Gambar 4.32 Grafik Perbandingan Daya Tampung Parameter Amonia**

Pada grafik diatas menunjukkan bahwa pada segmen 4, nilai parameter amonia sudah melebihi daya tampung yang telah ditetapkan berdasarkan kualitas air kelas II. Sedangkan pada segmen lainnya nilai parameter amonia berada dibawah daya tampung yang telah ditetapkan.

f. Parameter Fosfat

Berikut pada Gambar 4.33 grafik perbandingan hasil daya tampung pencemar Kali Wonokormo dengan baku mutu pada parameter pencemar fosfat.

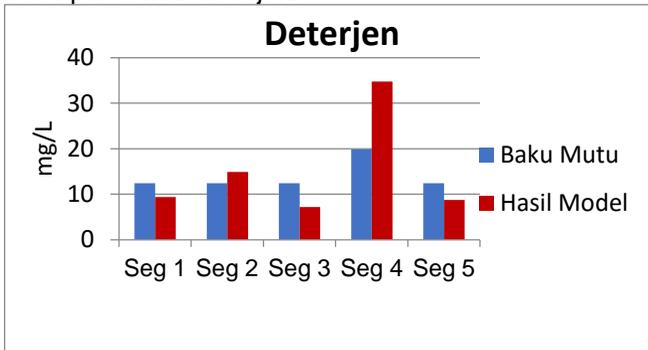


### Gambar 4.33 Grafik Perbandingan Daya Tampung Parameter Fosfat

Pada grafik diatas menunjukkan bahwa pada segmen 1 dan segmen 4 di Kali Wonokromo memiliki nilai parameter fosfat sudah melebihi daya tampung yang telah ditetapkan berdasarkan kualitas air kelas II.

#### g. Parameter Deterjen

Berikut pada Gambar 4.34 grafik perbandingan hasil daya tampung pencemar Kali Wonokromo dengan baku mutu pada parameter pencemar deterjen.



### Gambar 4.34 Grafik Perbandingan Daya Tampung Parameter Deterjen

Pada grafik diatas menunjukkan bahwa pada segmen 2 dan segmen 4 di Kali Wonokromo memiliki nilai parameter deterjen sudah melebihi daya tampung yang telah ditetapkan berdasarkan kualitas air kelas II.

#### 4.7. Skenario Penanggulangan Model

Skenario penanggulangan model diperlukan untuk melihat pengaruh suatu kebijakan terhadap pengelolaan kualitas air. Berdasarkan hasil simulasi kondisi eksisting dan prediksi kualitas air hingga 1 tahun kedepan ada beberapa parameter yang tidak memenuhi standart baku mutu air sungai kelas II yang terdapat pada Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 yaitu

parameter DO, COD, fosfat dan deterjen sehingga perlu adanya perbaikan kualitas dan pengelolaan air sungai secara terpadu.

Awal yang diperlukan adalah tahap pemulihan fungsi air sungai yang di perbaiki berdasarkan UU No.32 tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup adalah penghentian sumber pencemar dan pembersihan unsur pencemar. Berdasarkan hal tersebut dibuat 3 skenario untuk mengurangi beban pencemar DO, BOD, fosfat dan deterjen yaitu:

- Skenario 1: Merencanakan IPL di lokasi sekitar segmen 2 (PDAM Ngagel Tirto), untuk penanggulangan limbah lumpur hasil pengolahan IPAM.
- Skenario 2: Merencanakan IPAL komunal untuk limbah domestik sesuai Peraturan Gubernur Jawa Timur No.72 Tahun 2013.
- Skenario 3: Merencanakan IPAL di lokasi industri terkait, untuk penanggulangan limbah industri dengan memperhatikan Permen LHK.No p.68 Tahun 2016 mengenai IPAL terintegrasi.

Pembersihan unsur pencemar dalam konteks pemulihan kualitas sungai, dapat diartikan secara tidak langsung sebagai upaya mengembalikan kondisi menjadi baik atau sesuai dengan peruntukan sungai yang telah ditetapkan serta menanggulangi pencemaran akibat air limbah yang dibuang ke Kali Wonokromo tanpa diolah terlebih dahulu di IPAL. Hal ini dilakukan juga untuk menjadi sungai sesuai dengan kelas sungai yang telah ditentukan dan daya dukungnya.

“ Halaman Sengaja Dikosongkan ”



## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

### **5.1. Kesimpulan Sementara**

1. Hasil perhitungan beban pencemar dengan metode permodelan Sistem Dinamik diperoleh hasil nilai kualitas air pada Kali Wonokromo dengan parameter TSS adalah 26,34 mg/L, parameter DO adalah 4,79 mg/L, parameter BOD adalah 6,98mg/L, parameter COD adalah 14,18 mg/L, parameter Amonia adalah 5,87mg/L, parameter Fosfat 2,77mg/L, dan parameter Deterjen 381,11 ug/L. Nilai parameter DO, BOD, fosfat dan deterjen tidak memenuhi baku mutu air sungai kelas II sesuai dengan standart yang telah ditetapkan.
2. Hasil analisa data beban pencemar pada Kali Wonokromo menunjukkan bahwa di segmen 4beban pencemar telah melebihi dayatampung yang ditentukan.
3. Pengendalian kualitas air sungai Kali Wonokromo untuk mengurangimasukan limbah pencemar ke air sungai dilakukan melalui beberapa upaya yaitu membangun IPL di sekitar segmen 2 . membangun IPAL komunal di sekitar segmen 3 dan 4 dengan efluen yang sesuai baku mutu menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur No 72 Tahun 2013 dan Peraturan Permen LHK No.68 tahun 2016.

### **5.2. Saran**

1. Penelitian dengan model dinamik diperlukan data primer yang spesifik seperti: debit dan kecepatan air sungai secara kontinyu, data *point source* dan *non-point source* air limbah yang dibuang ke sungai. Data-data yang dipergunakan dalam running model harus valid.
2. Penelitian ini perlu dilakukan perencanaan instalasi pengolahan air limbah dalam upaya pengendalian kualitas air sungai agar sesuai dengan baku mutu yang ditentukan.

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

## DAFTAR PUSTAKA

- Alihar, F. (2018) **Pendudukan Akses Air Bersih Di Kota Semarang** . Jurnal Kependudukan Indonesia Vol.13(1):67-76
- Anwariani, D. (2017) **Pengaruh Air Limbah Domestik Terhadap Kualitas Sungai** .Universitas Trisakti Jakarta.
- Chapra, S. C. (1997)**Surface Water-Quality Modelling**.McGraw-Hill Companies, Inc, Singapore.
- Effendi, H. (2003) **Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan** . Penerbit Kasius. Yogyakarta.
- Guneralp, B. dan Barlas, Y. (2003), **Dynamic Modelling of a Shallow Freshwater Lake for Ecological and Economic Sustainability**.Ecological Modelling, 167: 115 – 138.
- Harnani, B. R. D dan Titah, H. S. (2017) **Kemampuan Avicennia Alba Untuk Menurunkan Konsentrasi Tembaga (Cu) di Muar Sungai Wonorejo Surabaya** . Jurnal Teknik ITS vol.6(2):F218-F222.
- Iriadi, R. (2015) **Model Pengendalian Pencemaran Perairan Danau Laut Tawar di Kabupaten Aceh Tengah** . Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Juantari, G. Y., Sayekti, R. W., dan Harisuseno, D. (2013) **Status Trofik dan Daya Tampung Beban Pencemaran Waduk Sutami** . Jurnal Teknik Pengairan, 4(1): 61 – 66.
- Kementerian Lingkungan Hidup (2003) **Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 Penentuan Status Mutu Air Dengan Metode**

**Indeks Pencemaran.** *Kementerian Negara Lingkungan Hidup* . Jakarta

- Kementerian Lingkungan Hidup (2010) **Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 01 Tahun 2010 Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air.** Kementerian Negara Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Kementerian Lingkungan Hidup (2011) **Indeks Kualitas Lingkungan Hidup Indonesia 2010.** Kementerian Negara Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Kunc, M. (2016) **System Dynamics: A Behavioral Modeling Method.** Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference, pp:53 – 64.
- Kurniawan, O dan Ngatilah, Y. (2017) **Kebijakan Perbaikan Kuaitas Air Sungai Pegirikan Dengan Metode Sistem Dinamik** . Surabaya.
- Mratandani, L. (2016) **Penentuan Kadar Senyawa Fosfat Di Sungai Way Kuripan Dan Way Kuala Dengan Spektrofotometri UV-Vis.** Lampung.
- Mulyono, A. Marganingrum, D. dan Djuwansah (2018) **Penilaian Daya Tampung Sungai Jangkok dan Sungai Ancar Terhadap Polutan Organik** . Jurnal Teknologi Lingkungan Vol.19 (1);71-80
- Nugroho, A.R. (2014) **Penilaian Faktor Pencemar Air Kali Surabaya Menggunakan Structural Equation Modelling** .Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Nurdin, F.A., Mulia, G.J.T., Rosyidah, B., Ishar, M., dan Munir, M. (2015) **“Surabaya Underground Aqua Project” Konsep Pengelolaan Air Minum, Air Limbah, dan Air Hujan Perkotaan Di Bawah Tanah Sebagai Solusi Permasalahan Air Di Kota Besar** . Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

- Pavita, K. D. Widiatmono, B. R. dan Dewi, L. (2017) **Studi Penentuan Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Akibat Buangan Limbah Domestik (Studi Kasus Kali Surabaya – Kecamatan Wonokromo)** . Universitas Brawijaya, Malang.
- Pemerintah Daerah Provinsi Jawa Timur (2008) **Peraturan Daerah Jawa Timur Nomor 2 Tahun 2008 Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air Di Provinsi Jawa Timur**.
- Pemerintah Republik Indonesia (2001) **Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Pengelolaan Kualitas Air Dan Pengendalian Pencemaran Air**.
- Prakoso, F. D. (2015) **Studi Pola Sebaran Salinitas, Temperatur, dan Arus Perairan Estuari Sungai Wonokromo Surabaya** . Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Ramadhani, N. S. Purnaini, R dan Utomo, K. P. (2016) **Analisis Sebaran Oksigen Terlarut Saluran Sungai Jawi**. Universitas Tanjungpura, Kalimantan Barat.
- Suwari.(2010) **Model pengendalian pencemaran air pada wilayah Kali Surabaya**.Institut Pertanian Bogor,Bogor.
- Salim, H. (2002)**Beban PencemaranLimbahDomestik dan Pertanian di DAS Citarum Hulu**.Jurnal TeknologiLingkungan. 2(3):107-111.
- Utami, S dan Handayani, S. K. (2018) **Ketersediaan Air Bersih Untuk Kesehatan:Kasus Dalam Pencegahan Diare Pada Anak**. Jakarta

Widiyasari, R dan Mutiarani (2017) **Penggunaan Metode Structural Equation Modelling Untuk Analisis Faktor yang Mempengaruhi Motivasi Belajar Mahasiswa FIP UMJ** . Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jakarta

Yudo,S dan Said, N. I. (2019) **Kondisi Kualitas Air Sungai Surabaya** . Tangerang Selatan

## Lampiran I

- Kriteria Baku Mutu Kualitas Air Berdasarkan Kelas Sungai

Parameter	Satuan	Kelas				Keterangan
		I	II	III	IV	
<b>FISIKA</b>						
Temperatur	°C	Deviasi 3	Deviasi 3	Deviasi 3	Deviasi 5	Deviasi Temperatur dari keadaan alamiah
Residu Terlarut	mg/L	1000	1000	1000	2000	
Residu Tersuspensi	mg/L	50	50	400	400	Bagi pengolahan air minum secara konvensional , residu tersuspensi < 5000 mg/L
<b>KIMIA ORGANIK</b>						
Ph		69	69	69	59	Apabila secara alamiah di luar rentang tersebut, maka ditentukan berdasarkan kondisi alamiah
BOD	mg/L	2	3	6	12	
COD	mg/L	10	25	50	100	
DO	mg/L	6	4	3	0	Angka batas minimum
Total Fosfat sbg P	mg/L	0,2	0,2	1	5	
NO <sup>3</sup> sebagai N	mg/L	10	10	20	20	

Parameter	Satuan	Kelas				Keterangan
		I	II	III	IV	
<b>NH3-N</b>	mg/L	0,5	(-)	(-)	(-)	Bagi perikanan, kandungan amonia bebas untuk ikan yang peka < 0,02 mg/L sebagai NH3
<b>Arsen</b>	mg/L	0,05	1	1	1	
<b>Kolbat</b>	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	
<b>Barium</b>	mg/L	1	(-)	(-)	(-)	
<b>Boron</b>	mg/L	1	1	1	1	
<b>Selenium</b>	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	
<b>Kadmium</b>	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	
<b>Khrom (VI)</b>	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,01	
<b>Tembaga</b>	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,2	Bagi pengolahan air minum secara konvensional , Cu < 1 mg/L
<b>Besi</b>	mg/L	0,3	(-)	(-)	(-)	Bagi pengolahan air minum secara konvensional , Fe < 5 mg/L
<b>Timbal</b>	mg/L	0,03	0,03	0,03	1	Bagi pengolahan air minum secara konvensional , Pb < 0,1 mg/L
<b>Mangan</b>	mg/L	1	(-)	(-)	(-)	

Parameter	Satuan	Kelas				Keterangan
		I	II	III	IV	
<b>Air Raksa</b>	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,005	
<b>Seng</b>	mg/L	0,05	0,05	0,05	2	Bagi pengolahan air minum secara konvensional , Zn < 5 mg/L
<b>Khlorida</b>	mg/L	1	(-)	(-)	(-)	
<b>Sianida</b>	mg/L	0,02	0,02	0,02	(-)	
<b>Fluorida</b>	mg/L	0,5	1,5	1,5	(-)	
<b>Nitrit sebagai N</b>	mg/L	0,06	0,06	0,06	(-)	Bagi pengolahan air minum secara konvensional , NO <sub>2</sub> _N < 1 mg/L
<b>Sulfat</b>	mg/L	400	(-)	(-)	(-)	
<b>Khlorin bebas</b>	mg/L	0,03	0,03	0,03	(-)	Bagi ABAM tidak dipersyarat
<b>Belerang sebagai H<sub>2</sub>S</b>	mg/L	0,002	0,002	0,002	(-)	
<b>MIKROBIOLOGI</b>						
<b>Fecal coliform</b>	jml/100 ml	100	1000	2000	2000	Bagi pengolahan air minum secara konvensional , fecal coliform < 2000 jml/ 100 ml dan total coliform < 10000 jml/100ml
<b>Total coliform</b>	jml/100 ml	1000	5000	10000	10000	
<b>RADIOAKTIVITAS</b>						
<b>Gross – A</b>	bg/L	0,1	0,1	0,1	0,1	

Parameter	Satuan	Kelas				Keterangan
		I	II	III	IV	
Gross – B	bg/L	1	1	1	1	
<b>KIMIA ORGANIK</b>						
Minyak dan Lemak	ug/L	1000	1000	1000	(-)	
Detergen sebagai MBAS	ug/L	200	200	200	(-)	
Senyawa Fenol	ug/L	1	1	1	(-)	
Sebagai Fenol	ug/L					
BHC	ug/L	210	210	210	(-)	
Aldrin/Dieldrin	ug/L	17	(-)	(-)	(-)	
Chlordane	ug/L	3	(-)	(-)	(-)	
DDT	ug/L	2	2	2	2	
Heptachlor dan Heptachlor epoxide	ug/L	18	(-)	(-)	(-)	
Lindane	ug/L	56	(-)	(-)	(-)	
Methoxyctor	ug/L	35	(-)	(-)	(-)	
Endrin	ug/L	1	4	4	(-)	
Toxaphan	ug/L	5	(-)	(-)	(-)	

Sumber : Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001

Keterangan :

- mg = miligram
- ug = mikrogram
- ml = militer
- L = liter
- Bq = Bequerel
- MBAS = Methylene Blue Active Substance
- ABAM = Air Baku untuk Air Minum
- Bagi pH merupakan nilai rentang yang tidak boleh kurang atau lebih dari nilai yang tercantum.

- Nilai DO merupakan batas minimum.
- Arti (-) di atas menyatakan bahwa untuk kelas termasuk, parameter tersebut tidak dipersyaratkan

“ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan ”

## LampiranII

Perhitungan Nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) pada setiap parameter.

- Parameter TSS

Tabel Perhitungan Nilai MAPE Parameter TSS

Time	A	Forecast (F)	Akurasi	A - F	A - F	Error (%)
0	603,14	601,53	1,61	1,61	2,5921	0,002669364
1	623,45	619,35	4,1	4,1	16,81	0,006576309
2	643,77	644,81	-1,04	1,04	1,0816	0,001615484
3	664,08	662,92	1,16	1,16	1,3456	0,001746777
4	684,40	681,53	2,87	2,87	8,2369	0,004193454
5	704,72	702,46	2,26	2,26	5,1076	0,003206947
6	725,03	723,93	1,1	1,1	1,21	0,001517179
7	745,35	741,53	3,82	3,82	14,5924	0,005125109
8	765,66	768,46	-2,8	2,8	7,84	0,003656976
9	785,98	773,73	12,25	12,25	150,0625	0,015585638
10	806,30	804,38	1,92	1,92	3,6864	0,002381248
11	826,61	822,63	3,98	3,98	15,8404	0,004814846
12	846,93	839,76	7,17	7,17	51,4089	0,008465871
total	9.425,42	9387,02	38,4	46,08	279,8144	0,061555202

Nilai MAPE =  $0,0615 / 12 \times 100\% = 1\%$

- Parameter DO

Tabel Perhitungan Nilai MAPE Parameter DO

Time	A	Forecast (F)	Akurasi	A - F	A - F	Error (%)
0	285,28	260,53	24,75	24,75	612,5625	0,08675687
1	510,98	467,51	43,47	43,47	1889,6409	0,085071823

Time	A	Forecast (F)	Akurasi	A - F	A - F	Error (%)
2	736,69	669,42	67,27	67,27	4525,2529	0,09131385
3	962,39	934,76	27,63	27,63	763,4169	0,028709775
4	1.188,10	1165,98	22,12	22,12	489,2944	0,018617961
5	1.413,81	1385,81	28	28	784	0,019804641
6	1.639,51	1626,23	13,28	13,28	176,3584	0,008099981
7	1.865,22	1836,53	28,69	28,69	823,1161	0,015381564
8	2.090,92	2071,47	19,45	19,45	378,3025	0,009302125
9	2.316,63	2304,86	11,77	11,77	138,5329	0,005080656
10	2.542,34	2521,67	20,67	20,67	427,2489	0,008130305
11	2.768,04	2724,95	43,09	43,09	1856,7481	0,015566972
12	2.993,75	2947,51	46,24	46,24	2138,1376	0,015445511
total	21.313,66	20917,23	396,43	396,43	15002,6121	0,407282035

Nilai MAPE =  $0,4072 / 12 \times 100\% = 3\%$

- Parameter BOD

Tabel Perhitungan Nilai MAPE Parameter BOD

Time	A	Forecast (F)	Akurasi	A - F	A - F	Error (%)
0	408,54	401,35	7,19	7,19	51,6961	0,017599256
1	516,00	505,29	10,71	10,71	114,7041	0,020755814
2	623,47	608,83	14,64	14,64	214,3296	0,023481483
3	730,93	716,19	14,74	14,74	217,2676	0,020166609
4	838,40	825,12	13,28	13,28	176,3584	0,015839695
5	945,87	935,37	10,5	10,5	110,25	0,011100891
6	1.053,33	1026,63	26,7	26,7	712,89	0,025348181
7	1.160,80	1141,29	19,51	19,51	380,6401	0,016807374
8	1.268,26	1251,38	16,88	16,88	284,9344	0,013309574
9	1.375,73	1354,34	21,39	21,39	457,5321	0,015548109
10	1.483,20	1426,27	56,93	56,93	3241,0249	0,038383225

Time	A	Forecast (F)	Akurasi	A - F	A - F	Error (%)
11	1.590,66	1534,28	56,38	56,38	3178,7044	0,0354444407
12	1.698,13	1621,23	76,9	76,9	5913,61	0,045285108
total	13.693,32	13347,57	345,75	345,75	15053,9417	0,299069207

Nilai MAPE =  $0,29906 / 12 \times 100\% = 2,5 \%$

- Parameter COD

Tabel Perhitungan Nilai MAPE Parameter COD

Time	A	Forecast (F)	Akurasi	A - F	A - F	Error (%)
0	440,79	411,35	29,44	29,44	866,7136	0,066789174
1	575,67	545,21	30,46	30,46	927,8116	0,052912259
2	710,56	678,83	31,73	31,73	1006,7929	0,04465492
3	845,44	816,16	29,28	29,28	857,3184	0,034632854
4	980,33	905,12	75,21	75,21	5656,5441	0,076719064
5	1.115,22	1037,33	77,89	77,89	6066,8521	0,069842722
6	1.250,10	1196,63	53,47	53,47	2859,0409	0,042772578
7	1.384,99	1341,21	43,78	43,78	1916,6884	0,031610337
8	1.519,87	1598,38	-78,51	78,51	6163,8201	0,051655734
9	1.654,76	1637,34	17,42	17,42	303,4564	0,010527206
10	1.789,65	1726,27	63,38	63,38	4017,0244	0,035414746
11	1.924,53	1874,28	50,25	50,25	2525,0625	0,026110271
12	2.059,42	1921,23	138,19	138,19	19096,4761	0,067101417
total	16.251,33	15689,34	561,99	719,01	52263,6015	0,610743281

Nilai MAPE =  $0,6107 / 12 \times 100\% = 5,1 \%$

- Parameter Amonia

Tabel Perhitungan Nilai MAPE Parameter Amonia

Time	A	Forecast (F)	Akurasi	A – F	A- F	Error (%)
0	9,28	7,92	1,36	1,36	1,8496	0,146551724
1	11,00	10,1	0,9	0,9	0,81	0,081818182
2	12,71	10,8	1,91	1,91	3,6481	0,150275374
3	14,42	12,82	1,6	1,6	2,56	0,110957004
4	16,14	16,52	-0,38	0,38	0,1444	0,02354399
5	17,85	17,69	0,16	0,16	0,0256	0,008963585
6	19,56	18,31	1,25	1,25	1,5625	0,06390593
7	21,28	19,44	1,84	1,84	3,3856	0,086466165
8	22,99	20,83	2,16	2,16	4,6656	0,093953893
9	24,71	22,94	1,77	1,77	3,1329	0,071630919
10	26,42	25,67	0,75	0,75	0,5625	0,028387585
11	28,13	27,86	0,27	0,27	0,0729	0,009598294
12	29,85	29,19	0,66	0,66	0,4356	0,022110553
Total	254,34	240,09	14,25	15,01	22,8553	0,898163198

Nilai MAPE =  $0,8981 / 12 \times 100\% = 7 \%$

- Parameter Fosfat

Tabel Perhitungan Nilai MAPE Parameter Fosfat

Time	A	Forecast (F)	Akurasi	A – F	A- F	Error (%)
0	7,94	7,92	0,02	0,02	0,0004	0,002518892
1	9,66	10,1	-0,44	0,44	0,1936	0,045548654
2	11,38	11,03	0,35	0,35	0,1225	0,030755712
3	13,10	12,82	0,28	0,28	0,0784	0,021374046
4	14,82	16,52	-1,7	1,7	2,89	0,114709852
5	16,54	14,69	1,85	1,85	3,4225	0,11185006
6	18,26	15,31	2,95	2,95	8,7025	0,161555312

Time	A	Forecast (F)	Akurasi	A - F	A- F	Error (%)
7	19,84	19,44	0,4	0,4	0,16	0,02016129
8	20,80	20,13	0,67	0,67	0,4489	0,032211538
9	21,76	19,94	1,82	1,82	3,3124	0,083639706
10	22,72	21,67	1,05	1,05	1,1025	0,046214789
11	23,68	23,86	-0,18	0,18	0,0324	0,007601351
12	24,64	24,19	0,45	0,45	0,2025	0,018262987
total	225,14	217,62	7,52	12,16	20,6686	0,696404189

Nilai MAPE =  $0,6964 / 12 \times 100\% = 6\%$

- Parameter Deterjen

Tabel Perhitungan Nilai MAPE Parameter Deterjen

Time	A	Forecast (F)	Akurasi	A - F	A- F	Error (%)
0	122,15	107,92	14,23	14,23	202,4929	0,116496111
1	226,58	210,1	16,48	16,48	271,5904	0,072733692
2	331,01	311,03	19,98	19,98	399,2004	0,060360714
3	435,45	421,72	13,73	13,73	188,5129	0,031530601
4	539,88	561,12	-21,24	21,24	451,1376	0,039342076
5	644,32	615,27	29,05	29,05	843,9025	0,045086293
6	748,75	713,92	34,83	34,83	1213,1289	0,046517529
7	853,19	829,36	23,83	23,83	567,8689	0,027930473
8	957,62	927,86	29,76	29,76	885,6576	0,031077045
9	1.062,06	1033,86	28,2	28,2	795,24	0,026552172
10	1.166,49	1128,38	38,11	38,11	1452,3721	0,032670662
11	1.270,93	1254,29	16,64	16,64	276,8896	0,013092775
12	1.375,36	1326,82	48,54	48,54	2356,1316	0,035292578
total	9.733,79	9441,65	292,14	334,62	9904,1254	0,57868272

Nilai MAPE =  $0,5786 / 12 \times 100\% = 5\%$

“ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan ”

## Lampiran III

- Perhitungan Nilai Indeks Pencemar

Indeks Pencemar Titik 2

Parameter	nilai (Ci)	Baku Mutu (Lij)	(Ci/Lij)	$1+P*\log(Ci / Lij)$	Ci maksimum	(Ci/Lij) baru	Ip
TSS	74,40	50	1,49	1,86	71,2	-0,15	0,07
DO	4,83	3	1,61	2,04	4,57	-0,17	0,08
BOD	16,58	25	0,66	0,11	13,39	0,28	0,22
COD	30,40	4	7,60	5,40	29,33	-0,04	0,01
AMONIA	22,81	10	2,28	2,79	2,56	2,72	21,62
FOSFAT	3,34	0,2	16,70	7,11	1,58	-1,28	4,74
DETERJEN	288,17	200	3,34	3,62	668,32	0,81	1,35

Nilai Maksimum : 2,72

Nilai Rata-Rata : 0,19

Nilai IP : 3,82

Indeks Pencemar Titik 2

Parameter	nilai (Ci)	Baku Mutu (Lij)	(Ci/Lij)	$1+P*\log(Ci / Lij)$	Ci maksimum	(Ci/Lij) baru	Ip
TSS	12,64	50	0,259	-1,98	71,2	2,76	23,55
DO	5,2	3	1,73	2,19	4,57	-0,40	0,51
BOD	6,81	25	0,27	-1,82	13,39	-0,56	0,98
COD	11,78	4	2,94	3,34	29,33	0,69	1,48
AMONIA	1,2	10	0,1203	-3,59	2,56	-0,18	0,10
FOSFAT	2,78	0,2	13,89	6,71	1,58	-0,86	2,33
DETERJEN	268,62	200	1,34	1,640	668,32	0,85	2,24

Nilai Maksimum : 2,76

Nilai Rata-Rata : 0,32

Nilai IP : 4,46

Indeks Pencemar Titik 3

Parameter	nilai (Ci)	Baku Mutu (Lij)	(Ci/Lij)	$1+P*\log(Ci / Lij)$	Ci maksimum	(Ci/Lij) baru	Ip
TSS	10,20	50	0,20	-2,45	71,2	2,88	29,10
DO	3,82	3	1,27	1,53	4,57	0,48	0,80
BOD	1,09	25	0,04	-5,80	13,39	-1,06	3,94
COD	3,77	4	0,94	0,87	29,33	1,01	3,58
AMONIA	3,32	10	0,33	-1,39	2,56	0,10	0,04
FOSFAT	1,45	0,2	7,25	5,30	1,58	0,09	0,03
DETERJEN	221,46	200	1,11	1,22	668,32	0,95	3,20

Nilai Maksimum : 2,88

Nilai Rata-Rata : 0,64

Nilai IP : 5,81

Indeks Pencemar Titik 4

Parameter	nilai (Ci)	Baku Mutu (Lij)	(Ci/Lij)	$1+P*\log(Ci / Lij)$	Ci maksimum	(Ci/Lij) baru	Ip
TSS	18,47	50	0,37	-1,16	71,2	2,49	12,71
DO	9,74	3	3,25	3,56	4,57	-3,29	22,31
BOD	6,57	25	0,26	-1,90	13,39	-0,59	0,71
COD	16,89	4	4,22	4,13	29,33	0,49	0,50
AMONIA	0,76	10	0,08	-4,60	2,56	-0,24	0,12
FOSFAT	5,29	0,2	26,47	8,11	1,58	-2,69	14,89
DETERJEN	668,32	200	1,44	1,79	668,32	0	1,35

Nilai Maksimum : 2,49

Nilai Rata-Rata : - 0,43

Nilai IP : 7,51

Indeks Pencemar Titik 5

Parameter	nilai (Ci)	Baku Mutu (Lij)	(Ci/Lij)	$1+P*\log(Ci / Lij)$	Ci maksimum	(Ci/Lij) baru	Ip
TSS	15,94	50	0,32	-1,48	71,20	2,61	20,85
DO	4,69	3	1,56	1,97	4,57	-0,08	0,02
BOD	3,83	25	0,15	-3,07	13,39	-0,82	2,08
COD	8,09	4	2,02	2,53	29,33	0,84	2,16
AMONIA	1,27	10	0,13	-3,48	2,56	-0,17	0,09
FOSFAT	1,01	0,2	5,05	4,52	1,58	0,41	0,52
DETERJEN	458,98	200	2,29	2,80	668,32	0,45	0,61

Nilai Maksimum : 2,61

Nilai Rata-Rata : 0,46

Nilai IP : 3,76

“ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan ”

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Filial Dhiya Thifalina lahir di Kota Jombang pada tanggal 21 Juni 1997 yang merupakan anak terakhir dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan di SDS Hang Tuah 12 Surabaya pada tahun 2003-2009. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SMPN 2 Surabaya pada tahun 2010-2012. Kemudian dilanjutkan pendidikan tingkat atas yang dilalui di SMAN 19 Surabaya pada tahun 2012-2015. Penulis

kemudian melanjutkan pendidikan S1 di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2015 dan terdaftar dengan NRP 03211540000027.

Selama perkuliahan, penulis aktif menjadi Atlit dalam bidang olahraga Layar dan telah mendapatkan berbagai gelar juara nasional dan internasional. Penulis juga aktif di bidang organisasi maupun kepanitiaan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis merupakan anggota dari UKM ITS Billiard dan menjadi kabiro *Public Relation* pada periode 2016/2017. Kemudian menjadi Staff departemen Media dan Relasi BEM Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP) pada periode 2017 dan menjadi Dewan Perwakilan Mahasiswa ITS pada periode 2017/2018. Berbagai pelatihan dan seminar nasional dan internasional juga telah diikuti dalam rangka untuk pengembangan diri dan penambahan wawasan. Bila ada pertanyaan terkait tugas akhir penulis, silahkan menghubungi penulis via email di [filial.thifalina@gmail.com](mailto:filial.thifalina@gmail.com).



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN-ITS  
Kampus ITS Sukelilo, Surabaya 60111, Telp: 021-8948888, Fax: 021-5926387

KTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR  
Periode: Genap 2018/2019

Kode/SKS : RE164604 (0/0/0)  
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-03  
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah  
Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal : 16 Desember 2019  
Pukul : 08.00-09.00 WIB  
Lokasi : TL-103  
Judul : Analisis Daya Tampung Pencemaran Pada Kali Wonokromo Kota Surabaya Dengan Metode  
Permodelan Sistem Dinamik  
Nama : FILIAL DHIYA THIFALINA  
NRP. : 0321154000027  
Topik : Penelitian (Lapangan)

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah Seminar Kemajuan Tugas Akhir
	<ul style="list-style-type: none"><li>- Abstrak diperbaiki, no hanté ?</li><li>- Foto Appran ; foto pada table bisa diatur !</li><li>- Pengambilan limitasi pada model no masuk ke das 2</li><li>- Bangun tabel/kaca draft TA.</li></ul> <p style="text-align: right;">Dec, 16/12/19</p>

Formulir KTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah saat Seminar Kemajuan selesai.

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-03 ke Sekretaris Program Sarjana

Formulir ini harus diserahkan di hari saat selisihnya kepada Dosen Pengarah

Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing

Dosen Pengarah : Ir. Atik Mosaialil, M.Kea.

Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Nieke Kamaningroem, M.Sc.



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN-ITS  
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60115. Telp: 031-5946880, Fax: 031-5926387

KTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR  
Periode: Genap 2018/2019

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)  
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-03  
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah  
Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal : 18 Desember 2019  
Pukul : 06.00-08.00 WIB  
Lokasi : TL-103  
Judul : Analisis Daya Tampung Pencemaran Pada Kali Wonorejo Kota Surabaya Dengan Metode Permodelan Sistem Dinamik  
Nama : FILIAL DHIYA THIFALINA  
NRP. : 0321154000027  
Topik : Penelitian (Lapangan)

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah Seminar Kemajuan Tugas Akhir
1	Tabel terpotong di beri judul
2.	Tujuan Kali Wonorejo diteliti ny apa
3.	Parameter nitrat (propat & di bagian), $\text{NH}_3$
4.	Gbr & ilustrasi awal pergm dinamis tll kead
5.	Parameter salinitas
6.	Sumber pencemar industri / domestik ?
7.	Daya tampung pencemaran ?
8.	Angka BOD vs COD ?
9.	Ammoniak vs aerasi

WFO 18/12/2019

Formulir KTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.  
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-03 ke Sekretaris Program Sarjana  
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat selesai ke Dosen Pengarah  
Formulir dikumpulkan beserta revisi jika setelah mendapat persetujuan Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing

Dosen Pengarah : Prof. Ir. Wahyuni Hadi, M.Sc, Ph.D

Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Niele Kamaningroem, M.Sc

WFO  
Mete



KTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR

Kode/SKS : RE194504 (0/6/0)

Periode: Ganap 2018/2019

No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-03  
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah  
Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal : 18 Desember 2019  
Pukul : 00.00-09.00 WIB  
Lokasi : TL-103  
Judul : Analisa Daya Tampung Pencemaran Pada Kali Wonokromo Kota Surabaya Dengan Metode  
Pemodelan Sistem Dinamik  
Nama : FILIAL DHIYA THIFALINA  
NRP. : 03211640000027  
Topik : Penelitian (Lapangan)

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah Seminar Kemajuan Tugas Akhir
1.	Abstrak, termasuk hari?
2.	Kejelasan dokumen: - penulisan halaman - Gambar diperbesar dan diperjelas. - Program alir penelitian dibuat yang benar.
3.	Semua ada 5, tapi file sampling ada 4. Jelaskan. ✓ Repetisi sampling?
4.	Harus grafik diplotkan sumbu x dan y modulusnya apa?
5.	Hasil parameter tidak masuk akal konsentrasinya. Diperbesar pengerjaannya.

 Adhian 10/12/20.

Formulir KTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.  
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-03 ke Sekretaris Program Sarjana.  
Formulir ini harus diserahkan di awal saat asistensi kepada Dosen Pengarah.  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mencapai persetujuan Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing.

Dosen Pengarah Adhi Yuniarto, S.T., M.T., Ph.D.

Dosen Pembimbing Prof. Dr. Ir. Nisike Kamaringroem, M.Sc.




PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN-ITS  
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111, Telp: 031-846000, Fax: 031-8526307

KTA-S1-TL-02 TUGAS AKHIR  
Periode: Genap 2018/2019

Kode/RSK : RE184804 (06/0)  
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-02  
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing  
Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal : 18 Desember 2019  
Pukul : 06.00-09.00 WIB  
Lokasi : TL-103  
Judul : Analisis Daya Tampung Pancaraman Pada Kali Wonokromo Kota Surabaya Dengan Metode Permodelan Sistem Dinamik  
Nama : FILIAL DHNYA THIFALINA  
NRP. : 03211540000027  
Topik : Penelitian (Lapangan)

Nilai TOEFL : 393

Tanda Tangan

No./Tel.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Seminar Kemajuan Tugas Akhir
1.	Daya Tampung tolong difokuskan; cek DO kembali.
2.	Segmen ada 6 tp Hk sampling ada 4 pengalasanannya → perlu dijelaskan
3.	Maring 2 Stack dipegelas. → DO nya & pegelas time serie (transfer into energy ?); Ammonia. → PP nya.
4.	Mengapa BOD $\approx$ COD → proses degradasi organik sangat mudah. cek kembali nilai BOD & COD → cek Errocheck chloride → daya Tampung.
5.	Abstrak, aturan penulisan, format <sup>ukuran</sup> harus dim bukt hrs sama
6.	pembahasan utk pembagian segmen hrs jelas!
7.	Pustaka MAPE diklas & uraian pembahasan.

Dosen Pembimbing akan menyarankan format KTA-02 ke Sekretaris Program Sarjana  
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mencapai persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir
2. Tidak dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir

Prof. Dr. Ir. Nioke Kamaningroem, M.Sc.



UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR  
Periode: Gasal 2019-2020

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)  
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03  
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji  
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : 14 Januari 2019  
Pukul : 07.30 - 09.30  
Lokasi : TL - 102  
Judul : Analisis Daya Tempuh Pencemaran pada Kali Jagir-Kali Wororejo Kota Surabaya dengan Metode Permodelan Sistem Dinamik  
Nama : Filial Dhiya Thifalina  
NRP. : 0321154000027  
Topik : Perencanaan

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1.	Revisi Abstrak → apakah akan membuat lebih dalam lagi? → harus ada dan pembahasannya. - Abstrak ke 3 belum menyempatkan kerangka kerangka. (kesimpulan).
2.	- Halaman 2 → lanjutkan - Hal 65. - Hal 67-61 → point @ titik lain... - hal
3.	Pengelasan Lendamban: kd & ka. → masukkan ke tabel 2.
4.	kesimpulan direvisi.
5.	Cek lagi soal penyusunan variabel: Pondsul, Pedsug, Pedsul, ds

acc,  
24/1/20

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Pemajuan thesis.  
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana  
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat submisinya kepada Dosen Penguji  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji Ir. Adek Moesriati, M.Kes

Dosen Pembimbing Prof. Dr. Ir. Nieke Kamarigroen, M.Sc



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN - ITS  
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5926387

UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR  
Periode: Gasal 2019-2020

Kode/SKS : RE141581 (06/0)  
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03  
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji  
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : 14 Januari 2019  
Pukul : 07.30 - 09.30  
Lokasi : TL - 102  
Judul : Analisis Daya Tampung Pencemaran pada Kali Jagir-Kali Wonorejo Kota Surabaya dengan Metode Permodelan Sistem Dinamik  
Nama : Filial Dhiya Thifalina  
NRP. : 0321154000027  
Topik : Perencanaan

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1.	Asesal diperbaiki, paragraf 1 diperbaiki.
2.	Penulisan, banyak typo, waktu tidak selanjut, keambiguan Mump/ Istilah
3.	Kesimpulan yang diambil $\neq$ tujuan yang ditetapkan, terutama kesimpulan 1 dan 2.
4.	Kesimpulan yang diambil meliputi kwarter segment yang mana.
5.	Hubungan hasil dengan daya tampung?

*Filial*  
24/1/20

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah saat Seminar Kemajuan selesai.  
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana  
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji Adhi Yuniarto, ST., MT., PhD.

Dosen Pembimbing Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.

*Filial*  
*Nieke*



UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)

Periode: Genap 2018-2019

No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03  
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji  
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal :  
Pukul :  
Lokasi :  
Judul : ANALISIS DAYA TAMPUNG PENCEMARAN PADA KALI WONOKROMO KOTA SURABAYA  
DENGAN METODE SISTEM DINAMIK  
Nama : FILIJAL DHIYA THIFALINA  
NRP. : 0321154000027  
Topik : Penelitian (Lapangan)

TFD MHS

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1.	Bab I : Enotitan terdahulu : - sgs Dinamika & IP.
2.	Bab V : Kesimpulan no 3. & Biodata peneliti
3.	Kata Pengantar & lembar pengesahan
4.	Pengjelasan → analisis daya tampung → sebutkan dalam latar belakang nya & tambahkan, tambahkan sampan pd. TP nya (tak semai Klas 2. berarti IT nya adalah tdk semai), kesimpulan perin & tambahkan, pengolahan managa the pengolahan, masukkan ke saran nya; Pengelasan serta umum
5.	Abstrak : konsistensi penulisan istilah, cara penulisan the atau semai, tujuan hrs semai ng kesimpulan, bila di rumus hrs teori yang lain
6.	Jelaskan bahwa di abstrak itu bukan kebigakan, baru? Ketikan, menungga Tabel bukan tabel (contohnya), hidrografi Sungai di bagian 1. alinea; nilai kd. sama, tambahkan penjelasan kd & Ka pd. Bab 2., tambahkan penjelasan error? penjelasan MSPE.

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana

Formulir ini harus mahasiswa bawa saat asistensi kepada Dosen Penguji

Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

24/01/20

Dosen Penguji Prof. Dr. Ir. Nieke Kurnaningroem, M.Sc.  
Adhi Yudianto, S.T., M.T., Ph.D.

Dosen Pembimbing Prof. Dr. Ir. Nieke Kurnaningroem, M.Sc.



**FORMULIR PERBAIKAN LAPORAN TUGAS AKHIR**

Nama : FILIAL DHIVA THIFALINA  
NRP : 0221174000002  
Judul Tugas Akhir : Analisis Daya Tampung Pendamaran Pada Kali Wonorejo,  
Kota Surabaya Dengan Metode Permodelan Sistem Dinamik.

No	Saran Perbaikan (sesuai Form UTA-02)	Tanggapan / Perbaikan (bila perlu, sebutkan halaman)
1.	Perbaikan kesimpulan	Sudah dikerjakan
2.	Perbaikan variabel model yang tidak perlu dihapus	Sudah dikerjakan
3.	Ditambahkan perhitungan tentang daya tampung.	Sudah dikerjakan
4.	Isi tabel dalam kalimat di perbaiki	Sudah dikerjakan
5.	Penulisan banyak yang salah	Sudah dikerjakan.

Dosen Pembimbing,

Prof. Dr. Ir. Nioko Kurnaningrum, N.Sc

Mahasiswa Ybs.

Filial Dhiva Thifalina



**KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR**

Nama : Filial Dhiya Thifalita  
NRP : 0321154000027  
Judul : Analisis Biaya Tamponing Perencanaan pada  
Kali Wadukromo Kota Surabaya dengan pemodelan  
sistem dinamik

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
	22/11 2019	Casual Loop Diagram dan Big Picture Mapping.	
	25/11 2019	- Validasi model simulasi. - Perbaikan Diagram model.	
	29/11 2019	Pencarian formula data dan perhitungan	
	02/12 2019	Perbaikan formula Data dan Running program	
	04/12 2019	- pengecekan formula, stock dan flow - Penambahan nilai validitas dengan NAPE	
	10/12 2019	Perbaikan terhadap pengertian dan variabel yang mempengaruhi flow	

Surabaya, .....  
Dosen Pembimbing



**KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR**

Nama : Filial Prima Thifaldia  
NRP : 0521154000027  
Judul : Analisis Dampak Tampung Debu Pencemar pada  
kali Wonorejo ke arah Surabaya dengan pemuldaan  
JTK di lokasi

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
	26/08 2019	- Penambahan nilai Perbandingan dengan nilai Indeks Pencemar (IP)	
	03/09 2020	- Perbaikan redaksi BAB I - BAB IV - pengecekan Abstrak	
	07/01 2020	- pengecekan data & formulasi model final	

Surabaya, .....  
Dosen Pembimbing