



TESIS – MO142528

**PEMODELAN SEBARAN KUALITAS AIR ESTUARI
WONOREJO DAN DAMPAKNYA TERHADAP
EKOSISTEM PERAIRAN ESTUARI**

**WAZIROTUS SAKINAH
4114205005**

**PEMBIMBING :
Suntoyo, ST, M.Eng., Ph.D.
Prof. Mukhtasor, M.Eng., Ph. D.**

**PROGRAM MAGISTER
TEKNIK MANAJEMEN PANTAI
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**



THESIS – MO142528

**MODELLING OF WATER QUALITY DISTRIBUTION
IN WONOREJO ESTUARY AND THE IMPACT INTO
ESTUARINE ECOSYSTEM**

**WAZIROTUS SAKINAH
4114205005**

**SUPERVISOR :
Suntoyo, ST, M.Eng., Ph.D.
Prof. Mukhtasor, M.Eng., Ph. D.**

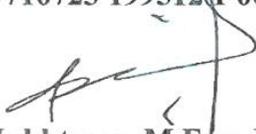
**MAGISTER PROGRAM
COASTAL ENGINEERING AND MANAGEMENT
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh:
Wazirotus Sakinah
NRP. 4114205005**

**Tanggal Ujian: 22 Juli 2016
Periode Wisuda: September 2016**

Disetujui oleh:

- 
1. **Suntoyo, M. Eng, Ph. D.** (Pembimbing I)
NIP: 19710723 1995121 001
- 
2. **Prof. Mukhtasor, M.Eng, Ph. D.** (Pembimbing II)
NIP: 19690420 1994031 003
- 
3. **Dr. Ir. Wahyudi, M.Sc** (Penguji)
NIP: 19601214 198903 1 001
- 
4. **Dr. Kriyo Sambodho, M. Eng** (Penguji)
NIP: 19740127 199903 1 002

Direktur Program Pascasarjana,

Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D
NIP: 19601202 198701 1 001

PEMODELAN SEBARAN KUALITAS AIR ESTUARI WONOREJO DAN DAMPAKNYA TERHADAP EKOSISTEM PERAIRAN ESTUARI

Nama : Wazirotus Sakinah
NRP : 4114 205 005
Jurusan : Teknik Manajemen Pantai - FTK
Dosen Pembimbing : Suntoyo,ST, M.Eng, Ph.D
Prof. Mukhtasor, M.Eng, Ph. D.

ABSTRAK

Estuari merupakan muara dari zat-zat buangan yang dibawa aliran. Namun, estuari juga memiliki kemampuan daur ulang zat hara yang cepat oleh berbagai jenis organisme penghuninya hingga kemampuannya dalam memproduksi detritus dan memanfaatkan zat hara yang terpendam jauh di dasar dengan adanya aktivitas mikroba. Estuari yang cukup besar di Surabaya adalah muara sungai Wonorejo yang juga merupakan kawasan konservasi. Namun banyaknya konversi lahan mangrove menjadi tambak dengan air buangnya yang mengalir di estuari Wonorejo hingga pencemaran yang pekat di sungai sebelah estuari Wonorejo memunculkan masalah kualitas air di perairan tersebut. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi parameter kualitas air di muara sungai Wonorejo, mengetahui apakah kualitas air di muara sungai Wonorejo sudah memenuhi standar baku mutu air laut, dan mengetahui pengaruh kualitas air di muara sungai Wonorejo terhadap ekosistem estuari sehingga dapat disusun strategi pengelolaan wilayahnya. Model hidrodinamika dan kualitas air dengan menggunakan perangkat lunak MIKE 21 modul hidrodinamika dan ECO Lab digunakan untuk meneliti distribusi parameter kualitas air di muara sungai Wonorejo. Analisa pengaruh kualitas air terhadap ekosistem perairan estuari juga dilakukan untuk dasar penyusunan strategi pengelolaan wilayah. Hasil yang diperoleh adalah konsentrasi DO memiliki rentang 5,26 - 5,72 mg/L saat pasang dan 5,027 - 5,65 mg/L saat surut, berdasarkan literatur konsentrasi ini dapat menyebabkan pertumbuhan udang terganggu. Konsentrasi BOD memiliki rentang 1,7 - 7 mg/L saat pasang dan 2,2 - 6,9 mg/L saat surut, konsentrasi ini menunjukkan BOD masih berada pada kriteria aman. Konsentrasi fosfat 0,01 - 0,2 mg/L saat pasang dan 0,011 mg/L - 0,201 mg/L saat surut, konsentrasi ini menunjukkan bahwa kondisi perairan di estuari Wonorejo termasuk dalam kategori subur. Konsentrasi fenol memiliki rentang 7×10^{-6} - 0,1 mg/L saat pasang dan 1×10^{-5} - 0,099 mg/L saat surut, menurut literatur, konsentrasi ini menyebabkan kerusakan pada sistem pernafasan Crustacea dan kematian kerang. Strategi pengelolaan wilayah di sungai dan pesisir perairan estuari Wonorejo dilakukan dengan melibatkan masyarakat, *stakeholder* dan pengembang.

Kata kunci: Kualitas air, muara kali Wonorejo, MIKE 21.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

MODELLING OF WATER QUALITY DISTRIBUTION IN WONOREJO ESTUARY AND THE IMPACT INTO ESTUARINE ECOSYSTEM

Name : Wazirotus Sakinah
NRP : 4114 205 005
Department : Coastal Management Engineering – FTK
Supervisor : Suntoyo, ST, M.Eng, Ph.D
Prof. Mukhtasor, M.Eng, Ph. D.

ABSTRACT

Estuary becomes the mouth of wastewater which was carried by river. However, estuarine organisms have ability to recycle nutrients in estuary rapidly and it can reproduce detritus. Wonorejo river estuary is a wide estuary in Surabaya. It becomes mangrove conservation area. Many land conversion from mangroves to ponds when the effluent passes through Wonorejo estuary to the strong pollution from neighbor river make a problem of water quality. Based on this situation, the aim of this study is to find distribution of water quality in Wonorejo river estuary, to know water quality standard based on the quality standard criteria, and to know the effect of water quality Wonorejo river estuary into estuarine ecosystem so that the strategy of coastal and estuary management can be created. A hydrodynamic and water quality model with MIKE 21 Hydrodynamics and ECO Lab module are used to examine distribution of water quality parameters in Wonorejo river estuary. Analyze the impact of water quality on estuarine ecosystem is used to create the strategy of zone management. DO concentration has interval 5,26 - 5,72 mg/L at high tide and 5,027 - 5,65 mg/L at low tide. Based on literature, this concentrations can make shrimps growth bothered. BOD concentration has interval 1,7 – 7 mg/L at high tide and 2,2 – 6,9 mg/L at low tide, this concentration shows that BOD still in safe criteria. Phosphate concentration 0,01 – 0,2 mg/L at high tide and 0,011 mg/L – 0,201 mg/L at low tide, this concentration shows that Wonorejo estuary is fertile waters. Phenol concentration has interval 7×10^{-6} – 0,1 mg/L and 1×10^{-5} – 0,099 mg/L at low tide. Based on literature, this concentration cause damage to the respiratory system of Crustacea and clams death. Strategy of zone management in river and coastal of Wonorejo estuary are involving communities, stakeholders, and developers.

Keywords: Water quality, Wonorejo river estuary, Modelling

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB 2. KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Kajian Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	7
2.2.1 Parameter Kualitas Air	7
2.2.1.1 DO (<i>Dissolved Oxygen</i>)	7
2.2.1.2 BOD (<i>Biological Oxygen Demand</i>)	8
2.2.1.3 Fosfat (PO ₄)	9
2.2.1.4 Fenol	9
2.2.2 Faktor Pengaruh Kualitas Air	10
2.2.2.1 Pasang Surut	10
2.2.2.2 Musim	10
2.2.2.3 Temperatur dan Salinitas	10
2.2.3 Pemodelan Numerik	12
2.2.4 Ekosistem Estuari	16
2.2.5 Pengaruh Kualitas Air terhadap Ekosistem Perairan	18

2.2.4 Baku Mutu Air Laut	21
2.2.5 Strategi Pengelolaan Wilayah Estuari berdasarkan Kualitas Air	21
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	25
3.2 Analisa Sebaran Parameter Kualitas Air	29
3.3 Analisa Pengaruh Kualitas Air terhadap Ekosistem	29
3.3.1 Analisa Kriteria Baku Mutu Kualitas Air	30
3.3.2 Analisa Batas Toleransi Biota Laut	30
3.4 Penyusunan Strategi Pengelolaan Wilayah Sungai, Muara, dan Pesisir.....	32
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian	33
4.2 Hasil Pengukuran Parameter Kualitas Air di Estuari Wonorejo	36
4.2.1 Hasil Pengukuran Parameter Kualitas Air di Sungai	36
4.2.2 Hasil Pengukuran Parameter Kualitas Air di Muara	37
4.2.3 Hasil Pengukuran Parameter Kualitas Air di Laut	38
4.3 Sebaran Parameter Kualitas Air di Estuari Wonorejo	39
4.3.1 Pemodelan Bathimetri Estuari Wonorejo	39
4.3.2 Kondisi Batas Pemodelan Estuari Wonorejo	41
4.3.3 Penentuan Sumber Pencemar	42
4.3.4 Validasi Model	42
4.3.4.1 Validasi Model Hidrodinamika	44
4.3.4.2 Validasi Model Kualitas Air	46
4.3.5 Hasil dan Analisa Model Hidrodinamika	48
4.3.6 Hasil dan Analisa Model Kualitas Air	53
4.3.6.1 Hasil dan Analisa Sebaran DO	54
4.3.6.2 Hasil dan Analisa Sebaran BOD	59
4.3.6.3 Hasil dan Analisa Sebaran Fosfat	65
4.3.6.4 Hasil dan Analisa Sebaran Fenol	71
4.4 Pengaruh Kualitas Air di Estuari Wonorejo terhadap Ekosistem Perairan Estuari	79
4.4.1 Pengaruh DO terhadap Ekosistem Perairan Estuari Wonorejo ..	80

4.4.2 Pengaruh BOD terhadap Ekosistem Perairan Estuari Wonorejo	83
4.4.3 Pengaruh Fosfat terhadap Ekosistem Perairan Estuari Wonorejo	84
4.4.4 Pengaruh Fenol terhadap Ekosistem Perairan Estuari Wonorejo	87
4.5 Strategi Pengelolaan Sungai dan Pesisir di Muara Kali Wonorejo berdasarkan Kualitas Air	91
4.5.1 Strategi Pengelolaan Sungai Wonorejo	91
4.5.2 Strategi Pengelolaan Pesisir di Perairan Estuari Wonorejo	92
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	101
5.1 Kesimpulan	101
5.2 Saran	103
DAFTAR PUSTAKA	105
LAMPIRAN	109

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Waktu Penelitian	25
Tabel 3.2 Metode Pengumpulan Data	27
Tabel 3.3 Batas Toleransi Biota terhadap DO	30
Tabel 3.4 Kondisi Perairan berdasarkan Konsentrasi BOD	31
Tabel 3.5 Kondisi Perairan berdasarkan Konsentrasi Fosfat	31
Tabel 4.1 Jumlah Konsentrasi Parameter Kualitas Air di Sungai Wonokromo .	36
Tabel 4.2 Jumlah Konsentrasi Parameter Kualitas Air di Muara Sungai Wonorejo	37
Tabel 4.3 Jumlah Konsentrasi Parameter Kualitas Air di Laut Wonorejo	38
Tabel 4.4 Kondisi Batas Pemodelan Estuari Wonorejo pada Mike 21	41
Tabel 4.5 Hasil Kalibrasi Konsentrasi DO Menggunakan Sampel Air	46
Tabel 4.6 Hasil Kalibrasi Konsentrasi BOD Menggunakan Sampel Air	47
Tabel 4.7 Hasil Kalibrasi Konsentrasi Fosfat Menggunakan Sampel Air	47
Tabel 4.8 Hasil Kalibrasi Konsentrasi Fenol Menggunakan Sampel Air	48
Tabel 4.9 Batas Toleransi Biota Laut Estuari Wonorejo terhadap DO	82
Tabel 4.10 Gejala Eutrofikasi Berdasarkan Konsentrasi Fosfat	87
Tabel 4.11 Matriks Strategi Pengelolaan Wilayah Sungai dan Pesisir Perairan Estuari Wonorejo	95

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Denah lokasi tambak di Estuari Wonorejo	2
Gambar 2.1 Batas Toleransi DO pada Biota	7
Gambar 2.2 Kurva BOD	8
Gambar 2.3 Batas Toleransi Biota terhadap Salinitas	11
Gambar 3.1 Lokasi penelitian dan pengambilan sampel	26
Gambar 3.2 Diagram Alir Kerangka Penelitian	28
Gambar 3.3 Diagram alir simulasi distribusi kualitas air dengan MIKE 21	29
Gambar 3.4 Diagram alir penyusunan strategi pengelolaan wilayah sungai, muara sungai dan pesisir	32
Gambar 4.1 Dermaga II Muara Sungai Wonorejo	34
Gambar 4.2 Tambak Tradisional di Wonorejo	35
Gambar 4.3 Lokasi Pemodelan	40
Gambar 4.4 <i>Meshing</i> Bathimetri Estuari Wonorejo	40
Gambar 4.5 Kondisi Batas pada Pemodelan Estuari Wonorejo	41
Gambar 4.6 Lokasi Sumber Pencemar	42
Gambar 4.7 Lokasi <i>Output Point</i>	43
Gambar 4.8 Validasi Data Pasang Surut	45
Gambar 4.9 Validasi Kecepatan Arus dengan Data Pengukuran dan Pemodelan	46
Gambar 4.10 <i>Wind Rose</i> Hasil Peramalan Angin BMKG untuk Area Wonorejo	49
Gambar 4.11 Arah Arus pada Model Hidrodinamika Estuari Wonorejo	50
Gambar 4.12 Pola Arus Estuari Wonorejo saat Menuju Pasang	51
Gambar 4.13 Pola Arus Estuari Wonorejo saat Pasang Tertinggi	51
Gambar 4.14 Pola Arus Estuari Wonorejo saat Menuju Surut	52
Gambar 4.15 Pola Arus Estuari Wonorejo saat Surut Terendah	53
Gambar 4.16 Sebaran DO saat Menuju Pasang	54
Gambar 4.17 Sebaran DO saat Pasang Tertinggi	55

Gambar 4.18 Sebaran DO saat Menuju Surut	56
Gambar 4.19 Sebaran DO saat Surut Terendah	56
Gambar 4.20 Sebaran DO pada setelah Satu Bulan	57
Gambar 4.21 Perbandingan Sebaran DO di Sungai, Muara, dan Laut dengan Pasang Surut	59
Gambar 4.22 Sebaran BOD saat Menuju Pasang	60
Gambar 4.23 Sebaran BOD saat Pasang Tertinggi	60
Gambar 4.24 Sebaran BOD saat Menuju Surut	61
Gambar 4.25 Sebaran BOD saat Surut Terendah	62
Gambar 4.26 Sebaran BOD pada setelah Satu Bulan	63
Gambar 4.27 Perbandingan Sebaran BOD di Sungai, Muara, dan Laut	65
Gambar 4.28 Sebaran Fosfat saat Menuju Pasang	66
Gambar 4.29 Sebaran Fosfat saat Pasang Tertinggi	67
Gambar 4.30 Sebaran Fosfat saat Menuju Surut	68
Gambar 4.31 Sebaran Fosfat saat Surut Terendah	68
Gambar 4.32. Sebaran Fosfat setelah Satu Bulan	69
Gambar 4.33 Perbandingan Distribusi Fosfat di Sungai, Muara, dan Laut	71
Gambar 4.34 Sebaran Fenol saat Menuju Pasang	72
Gambar 4.35 Sebaran Fenol saat Pasang Tertinggi	73
Gambar 4.36 Sebaran Fenol saat Menuju Surut	74
Gambar 4.37 Sebaran Fenol saat Surut Terendah	74
Gambar 4.38 Sebaran Fenol setelah Satu Bulan	76
Gambar 4.39 Perbandingan Sebaran Fenol di Sungai, Muara, dan Laut	78
Gambar 4.40 Hasil Tangkap Laut di Rungkut selama 10 Tahun Terakhir	80
Gambar 4.41 Salah Satu Pipa Pembuangan Air Tambak di Perairan Estuari Wonorejo	85
Gambar 4.42 Tumpukan Cangkang Kerang Mati di Muara Sungai Wonorejo	90
Gambar 4.43 Kerusakan Mangrove di Muara Sungai Wonorejo	93

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut	109
LAMPIRAN 2. Dokumentasi Penelitian	113
LAMPIRAN 3. Konsentrasi Parameter Kualitas Air	117
LAMPIRAN 4. Data Hasil Pemodelan Kualitas Air di Daerah Sungai, Muara, dan Laut	121
LAMPIRAN 5. Surat Ijin Penggunaan Lisensi Mike Oleh Balitbang KP-KKP	127

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

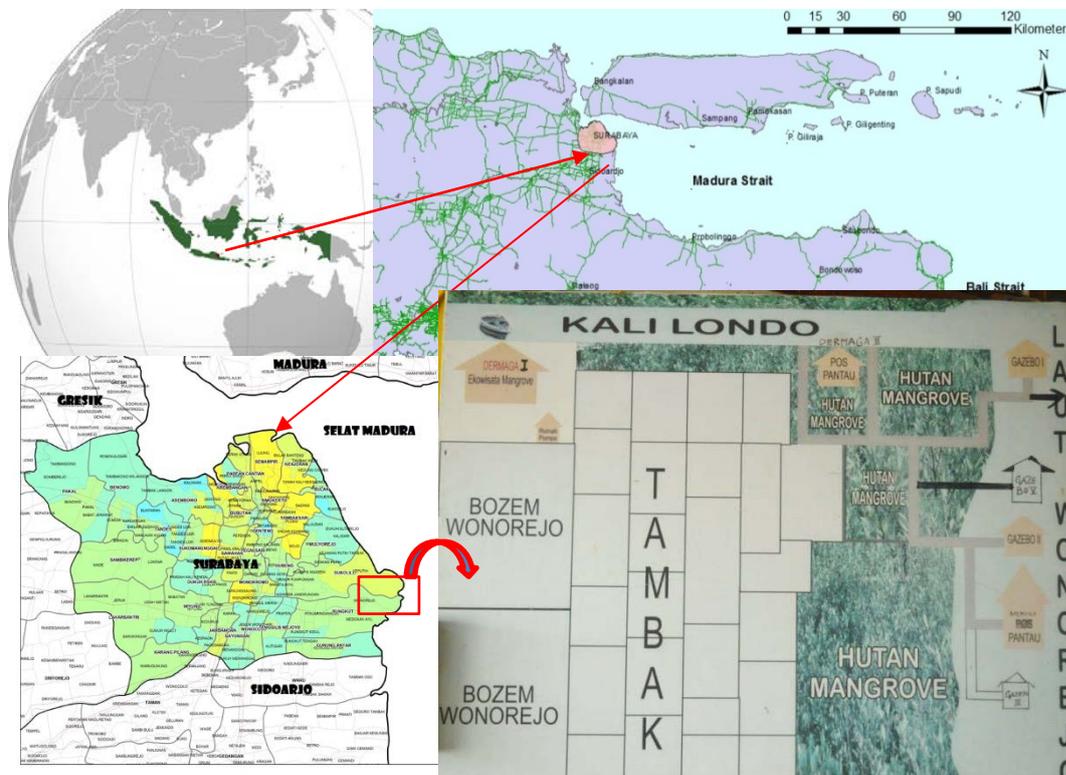
1.1 Latar Belakang

Estuari merupakan perairan pesisir semi tertutup (*semi-enclosed*) dengan hubungan terbuka dengan laut dan dipengaruhi oleh masukan air tawar (Odum, 1993; Ji, 2008). Estuari memiliki sisi negatif karena menjadi muara dari zat-zat buangan yang dibawa aliran. Dalam zat buangan tersebut mengandung bahan pencemar yang berupa sedimen, logam beracun, pestisida, dan organisme patogen (BLH Surabaya, 2011a). Namun, selain memiliki sisi negatif, estuari juga memiliki manfaat yang banyak, seperti kemampuan daur ulang zat hara yang cepat oleh berbagai jenis organisme penghuninya hingga kemampuannya dalam memproduksi detritus dan memanfaatkan zat hara yang terpendam jauh di dasar dengan adanya aktivitas mikroba (Direktorat pesisir dan lautan, 2009).

Estuari Wonorejo merupakan salah satu estuari yang ada di Surabaya. Ekosistem di estuari Wonorejo sangat beragam, dengan populasi terbesarnya berupa mangrove. Dengan banyaknya mangrove di wilayah ini maka hingga saat ini di dalam estuari Wonorejo juga terdapat kawasan konservasi mangrove. Bagi bermacam biota perairan estuari, mangrove berfungsi sebagai tempat mencari makan, memijah, memelihara juvenile, dan berkembangbiak. Mangrove juga mempunyai peran penting sebagai penyerap logam berat dan pestisida yang mencemari laut (Mukhtasor, 2007).

Ekosistem perairan yang payau seperti estuari Wonorejo dengan populasi mangrove di dalamnya, sangat cocok untuk membuat tambak terutama tambak udang. Karena itulah banyak alih fungsi lahan mangrove menjadi tambak di sekitar estuari Wonorejo (Gambar 1.1). Air buangan dari tambak-tambak tersebut akan mengalir di sekitar estuari Wonorejo. Air buangan tersebut dapat menjadi polutan karena banyak mengandung fosfor (P) yang muncul dalam bentuk fosfat (PO_4). Keberadaan mangrove memiliki fungsi utama pada keadaan ini. Ekosistem mangrove dapat merombak dan menghilangkan polutan tersebut melalui proses

sedimentasi, filtrasi, aktivitas mikroba, dan penyerapan oleh tumbuhan ketika air buangan lewat melalui mangrove (Wang *et al.*, 2010).



Gambar 1.1 Denah Lokasi Tambak di Estuari Wonorejo (Ekowisata Mangrove Wonorejo, 2015)

Permasalahan lain adalah dengan munculnya banyak tambak berarti terdapat konversi lahan mangrove menjadi tambak yang juga berarti berkurangnya jumlah mangrove di wilayah tersebut. Selain itu, menurut Effendi (2015), munculnya banyak perumahan baru di dekat kawasan konservasi mangrove Wonorejo membuat kondisi lingkungan semakin memburuk karena adanya penebangan beberapa pohon mangrove untuk keperluan perumahan. Mangrove memiliki banyak bakteri dekomposer yang menghasilkan banyak bahan organik terlarut, sehingga berkurangnya jumlah mangrove akan berdampak terhadap turunnya konsentrasi parameter dari kualitas air (Direktorat pesisir dan lautan, 2009). Selain itu, adanya indikasi pencemaran dari limbah LUSI (lumpur lapindo

Sidoarjo) yang datang pada musim-musim tertentu juga ikut memperburuk kualitas air di estuari Wonorejo.

Kualitas air merupakan karakteristik air, baik ataupun buruk, yang berhubungan dengan kemampuan menerima berdasarkan tujuan atau digunakan sebagai apakah air tersebut (Lamb, 1985). Kualitas air memiliki baku mutu yang merupakan referensi untuk menentukan apakah air tersebut aman ataukah tercemar. Kualitas air tidak dapat diketahui hanya dengan melihat secara kasat mata. Ada beberapa parameter kualitas air seperti BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), DO (*Dissolve Oxygen*), fosfat, ammonia, dan fenol yang harus diuji dan dianalisa terlebih dahulu. Parameter-parameter dalam kualitas air tersebut bersifat dinamis dan mampu mengindikasikan keadaan lingkungan saat itu. Seperti pada penelitian sebelumnya, Mishra *et al.* (2015) telah mengevaluasi parameter kualitas air dengan variasi bulanan dan musiman dan hasil yang diperoleh adalah adanya perbedaan yang signifikan di setiap musim. Dalam penelitian tersebut dijelaskan pula adanya kandungan fosfor (P) dan nitrogen (N) dalam jumlah besar yang memicu timbulnya eutrofikasi dan dapat menyebabkan terjadinya alga *bloom*.

Dari penelitian Mishra *et al.* (2015) diketahui bahwa parameter kualitas air dapat menunjukkan kondisi lingkungan. Begitu juga dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Suntoyo *et al.* (2015). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kondisi kualitas air di muara sungai Porong karena luapan lumpur yang terjadi di Sidoarjo telah berdampak pada banyak sektor. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa kualitas air di muara sungai Porong masih tergolong aman. Penelitian lain dari Wang *et al.* (2010), dalam penelitiannya dijelaskan bahwa polusi yang berupa air buangan tambak udang di wilayah estuari Zhangjiang, China telah merubah konsentrasi parameter kualitas air namun masih dapat ditanggulangi dengan adanya mangrove disana.

Dari penelitian Mishra *et al.* (2015), Suntoyo *et al.* (2015), dan Wang *et al.* (2010) dapat disimpulkan bahwa mengetahui kualitas air merupakan hal yang sangat penting untuk dilakukan. Dalam penelitian ini dengan mengetahui kualitas air maka kondisi lingkungan dapat diketahui. Dan dengan informasi kondisi lingkungan dapat dianalisa pula pengaruhnya terhadap ekosistem di sekitarnya.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimanakah sebaran parameter kualitas air di muara Kali Wonorejo?
2. Bagaimanakah pengaruh kualitas air di muara Kali Wonorejo terhadap ekosistem perairan estuari?
3. Bagaimanakah strategi pengelolaan sungai dan pesisir di estuari Wonorejo berdasarkan kualitas air?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memenuhi tujuan-tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Mengetahui sebaran parameter kualitas air di muara Kali Wonorejo.
2. Mengetahui pengaruh kualitas air di muara Kali Wonorejo terhadap ekosistem perairan estuari
3. Mengetahui strategi pengelolaan sungai dan pesisir di estuari Wonorejo berdasarkan kualitas air.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menambah pemahaman tentang kualitas air, dan juga diharapkan dapat menjadi sumber informasi bagi masyarakat serta acuan bagi Pemerintah dalam melakukan pengelolaan dan membuat kebijakan.

1.5 Batasan Masalah

Supaya penelitian yang dilakukan tidak terlalu melebar, maka dibuat batasan masalah sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian di estuari Wonorejo.
2. Survei lapangan dilakukan pada periode musim kemarau.
3. Parameter kualitas air yang diukur adalah DO, BOD, Fosfat, dan fenol.
4. Proses simulasi model menggunakan software MIKE 21-modul Eco Lab.
5. Model divalidasi dari pengukuran di lapangan secara langsung.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Pemodelan kualitas air terutama di estuari merupakan aspek yang penting untuk diteliti. Selain untuk mengetahui kondisi lingkungan, perencanaan dan kebijakan pengelolaan wilayah dan sumber daya alam juga dapat dilakukan dengan tepat karena adanya informasi kondisi, persebaran, dan prediksi kualitas air. Terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk mengkaji kondisi kualitas air.

Mishra *et al.* (2015) telah mengevaluasi parameter kualitas air dengan variasi bulanan dan musiman dengan melakukan *monitoring* dan membuat pemodelan kualitas air pantai di Chennai City, India. Penelitian tersebut dilakukan karena banyaknya pemukiman, industry, pertanian, dan saluran pembuangan di Chennai, City yang menyebabkan meningkatnya berbagai macam kontaminan karena adanya pembuangan limbah, pestisida, dan zat-zat kimia yang beracun sehingga pada akhirnya akan berdampak pada kualitas air, perikanan, pariwisata, dan keanekaragaman ekosistem pantai. Dengan menggunakan perangkat lunak MIKE 21 diperoleh hasil adanya perbedaan kualitas air yang signifikan di setiap musim. Umumnya, konsentrasi parameter-parameter kualitas air lebih besar pada musim kemarau dibandingkan dengan musim hujan. Dalam penelitian tersebut dijelaskan pula adanya kandungan fosfor (P) dan nitrogen (N) dalam jumlah besar yang memicu timbulnya eutrofikasi dan dapat menyebabkan terjadinya alga *bloom*.

Penelitian lain oleh Suntoyo *et al.* (2015) yang memodelkan persebaran beberapa parameter kualitas air yaitu COD, TSS, Fosfat, dan Nitrat akibat luapan lumpur Sidoarjo di Estuari Porong. Penelitian tersebut dilakukan untuk mengetahui kondisi kualitas air di muara sungai Porong karena luapan lumpur yang terjadi di Sidoarjo telah berdampak pada sektor sosial, ekonomi, dan ekologi. Dan untuk mengontrol luapan lumpur Sidoarjo, sungai Porong yang bermuara di selat Madura menjadi saluran utama pembuangan lumpur. Hasil dari

penelitian tersebut menunjukkan bahwa kualitas air di muara sungai Porong masih tergolong aman dan masuk dalam Kelas Air III sesuai standar baku mutu air. Penelitian tersebut juga memperlihatkan adanya perbedaan kualitas air estuari selama pasang dan surut. Selama pasang, hampir semua parameter kecuali TSS memiliki konsentrasi yang lebih rendah dibandingkan saat surut. Sedangkan TSS menunjukkan keadaan yang sebaliknya.

Penelitian tentang kualitas air dengan menganalisa parameter biologis juga pernah dilakukan oleh Wan *et al.* (2012) di estuari subtropis dangkal. Menurut peneliti, penelitian system estuari telah banyak dilakukan. Proses yang terjadi pada system itu mempengaruhi alga, unsur hara, dan DO di estuari subtropics dan dangkal, namun jarang di teliti. Lokasi penelitian di Pantai Timur di Florida Selatan. Model kualitas air dikalibrasi menggunakan data lapangan selama 2 tahun. Analisis statistik menunjukkan model tersebut mampu untuk menghasilkan karakteristik kualitas air dengan akurat. Dengan model tersebut peneliti melakukan penelitian tentang proses hidrodinamika dan entrofikasi di Estuari. Hasil konsentrasi alga di estuari tinggi dikarenakan adanya suplai unsur hara dan alga yang berlebih dari aliran sungai. Alga bloom menyebabkan konsentrasi DO berkurang di dekat dasar badan sungai. Hal ini mengindikasikan adanya stratifikasi dan sirkulasi karena adanya aliran air tawar masuk. Hasil lain, tingginya aliran masuk air tawar dapat merubah pola sirkulasi dan pengendapan unsur hara yang kemudian menyebabkan kondisi kualitas air ini berdampak di seluruh bagian estuari.

Penelitian lain yang menunjukkan kemampuan mangrove dalam memelihara kualitas air di daerah estuari telah dilakukan oleh Wang *et al.* (2010). Penelitian tersebut dilakukan karena banyaknya tambak udang di estuari Zangjiang, Cina. Air buangan dari tambak-tambak tersebut dibuang langsung di area vegetasi mangrove selama surut. Parameter yang diukur adalah salinitas, pH, DO, TN (*total dissolved nitrogen*), TP (*total dissolved phosphorus*), COD, dan DOC (*dissolved organic carbon*). Hasil dari penelitian tersebut adalah diketahui mangrove telah melakukan deoksidasi parameter-parameter kualitas air yang keluar dari sumber pencemaran. Karena adanya mangrove, banyak polutan yang berupa zat hara masih dapat ditanggulangi.

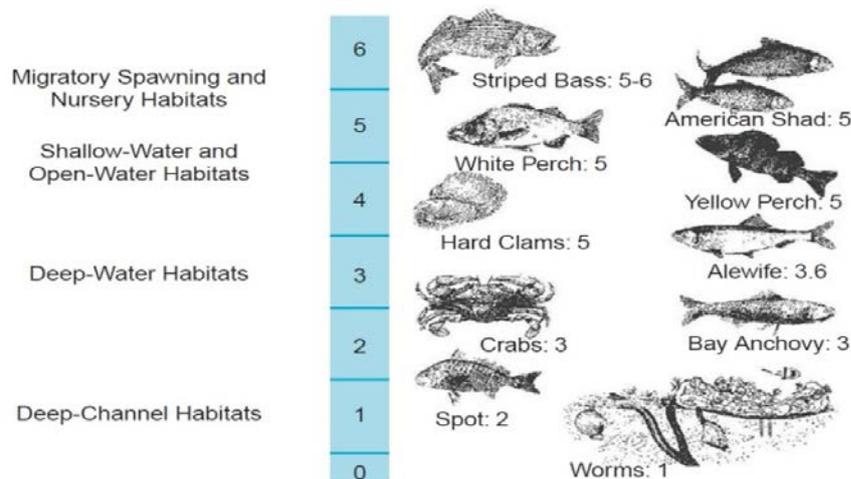
2.2 Dasar Teori

2.2.1 Parameter Kualitas Air

2.2.1.1 DO (Dissolve Oxygen)

Dissolve Oxygen (DO) merupakan jumlah oksigen yang terlarut dalam air, yang terjadi ketika gelembung-gelembung mikroskopis gas oksigen teraduk di dalam air. DO merupakan parameter kualitas air yang penting dan digunakan untuk mengukur jumlah oksigen yang tersedia untuk aktivitas biokimia di perairan (Ji, 2008).

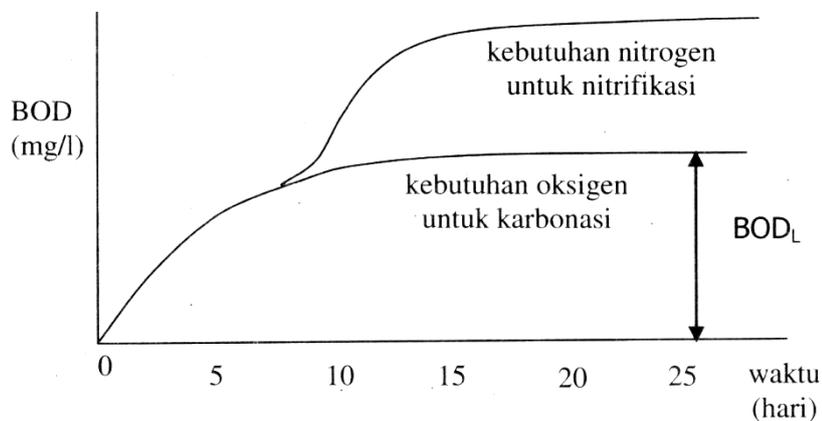
DO juga ditetapkan sebagai parameter yang melindungi ikan dan biota perairan. Standar DO untuk batas toleransi yang dapat diterima oleh ikan dan biota perairan sangat bervariasi. Untuk ikan salmon dan biota perairan dingin, konsentrasi DO tidak boleh kurang dari 6,5 mg/l. Di bawah kondisi ekstrim, konsentrasi DO antara 5-6 mg/l. Untuk mencegah kematian ikan, maka batas toleransi konsentrasi DO adalah 4 mg/l untuk biota perairan dingin dan 3 mg/l untuk biota perairan hangat (Novotny *et al.*, 1994). Para ilmuwan telah sepakat bahwa konsentrasi DO yang dibutuhkan untuk kehidupan biota pada umumnya adalah 5 mg/L atau lebih. Sedangkan kebutuhan oksigen untuk tiap biota tergantung pada seberapa besar dan kompleksnya biota tersebut dan dimana mereka hidup (Gambar 2.1) (Chesapeake Bay Program, 2012).



Gambar 2.1 Batas Toleransi Minimum DO (mg/L) pada Biota (Chesapeake Bay Program, 2012).

2.2.1.2 BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Tes ini merupakan cara pengukuran yang sangat populer penggunaannya untuk memeriksa terjadinya cemaran bahan organik. Cara mengukur jumlah dari molekul oksigen yang digunakan oleh bakteri untuk mengoksidasi kandungan bahan organik di dalam air sampel. Oleh karena itu, BOD sering juga diartikan sebagai jumlah oksigen dalam sistem perairan yang dibutuhkan oleh bakteri aerobik untuk menguraikan/merombak bahan organik dalam air melalui proses oksidasi biokimiawi secara dekomposisi aerobik. Semakin tinggi BOD menunjukkan semakin tinggi jumlah penurunan oksigen terlarut pada suatu sistem perairan. Pengambilan oksigen untuk tes BOD dalam air sampel diukur dengan fungsi waktu, seperti ditunjukkan dalam kurva pada Gambar 2.2. Pada kurva terlihat dua bagian, yaitu kurva kebutuhan oksigen untuk karbonasi dan kurva kebutuhan nitrogen untuk nitrifikasi. Setelah sekitar 10 hari inkubasi, organisme yang mengoksidasi nitrogen mulai mendominasi. Kebutuhan oksigen untuk nitrifikasi amoniak memerlukan tambahan kebutuhan oksigen yang baru sehingga kurvanya menjadi bengkak.



Gambar 2.2 Kurva BOD (Diolah dari Bishop, 1983 *dalam* Mukhtasor, 2007)

Pengukuran BOD mempunyai keterbatasan, seperti misalnya kehadiran bahan beracun di dalam air sampel yang akan menghambat aktivitas bakteri dan menghalangi pengukuran BOD yang sebenarnya. Oleh karena itu, pengolahan awal pada sampel diperlukan. Disamping itu, hanya bahan organik yang dapat

diuraikan yang dapat diukur. Faktor pembatas lainnya adalah diperlukannya sejumlah besar bibit bakteri untuk memulai pengukuran, yang sulit diperoleh dari air laut (Mukhtasor, 2007).

2.2.1.3 Fosfat (PO₄)

Fosfor (P) merupakan unsur hara yang mempengaruhi pertumbuhan alga. Konsentrasi fosfor yang tinggi di badan perairan menyebabkan produktivitas tumbuhan air menjadi berlebihan dan terjadi eutrofikasi. Produktivitas tumbuhan air yang tinggi menghambat sinar matahari yang masuk ke dalam perairan dan menyebabkan konsentrasi oksigen dalam perairan menipis. Fosfor terdapat pada senyawa organik maupun anorganik, salah satunya adalah Fosfat (PO₄). Fosfat merupakan senyawa anorganik yang memiliki dua fase, terlarut dan *particulate*. Fosfat terlarut dapat langsung dipakai oleh alga dan sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan alga (Ji, 2008).

Setiap senyawa fosfat terdapat dalam bentuk terlarut maupun tersuspensi di dalam sel biota laut. Di daerah pertanian, fosfat berasal dari bahan pupuk yang masuk ke dalam sungai melalui drainase dan aliran air hujan. Fosfat organik terdapat dalam air buangan penduduk (tinja) dan sisa makanan.

2.2.1.4 Fenol

Fenol disebut juga dengan asam karbol yang merupakan senyawa organik berstruktur alkohol C₆H₅OH. Fenol seringkali bersumber dari bahan-bahan kimia yang umumnya berasal dari limbah pabrik maupun dari berbagai desinfektan pada produk-produk pembersih rumah tangga maupun produk-produk yang dikonsumsi seperti pasta gigi dan obat kumur. Fenol masuk ke dalam air dari limbah pabrik yang dikeluarkan hingga ke perairan terbuka. Fenol dapat segera terurai di udara, namun fenol yang mengkontaminasi air membutuhkan waktu yang lebih lama untuk diuraikan (U.S. Department of Health and Human Services, 2008). Menurut Dewilda, dkk. (2012), senyawa fenol juga merupakan polutan yang berasal dari tumpahan minyak atau pembuangan limbah minyak ke laut.

Konsentrasi fenol yang tinggi sehingga mengakibatkan air terkontaminasi akan menjadi racun bagi kehidupan perairan dan dapat

menyebabkan rasa yang tidak enak pada daging ikan (Ministry of Water, Land and Air Protection, 2002). Fenol juga dapat menyebabkan penurunan respon antibodi secara signifikan, berbau tidak sedap, korosif terhadap kulit (iritasi), bahkan dapat menyebabkan gangguan pada kesehatan manusia (Dewilda, 2012).

2.2.2 Faktor Pengaruh Kualitas Air

2.2.2.1 Pasang Surut

Pasang surut disebabkan oleh gaya gravitasi dari Bulan dan sedikit pengaruh dari Matahari. Gaya tarik menarik antara Matahari, Bulan dan Bumi selalu menyebabkan gerakan relatif, termasuk air laut yang kemudian disebut gerakan pasang surut (CERC, 1984). Ketinggian rentang pasang surut (*tidal range*) sangat berpengaruh terhadap proses dinamika pesisir karena menentukan letak garis kesamaan rentang pasang surut dan garis kesamaan pasangnyanya yang menjadi penggerak massa air pasang surut. Gerakan massa air ini dapat mempengaruhi sistem penyebaran dan dinamika sedimen perairan pesisir maupun bentuk delta. Energi pasang surut dan densitas massa air mempengaruhi proses sirkulasi massa air yang berupa pertukaran dan pencampuran massa air pada *mudflat* (Ongkosongo, 2010).

2.2.2.2 Musim

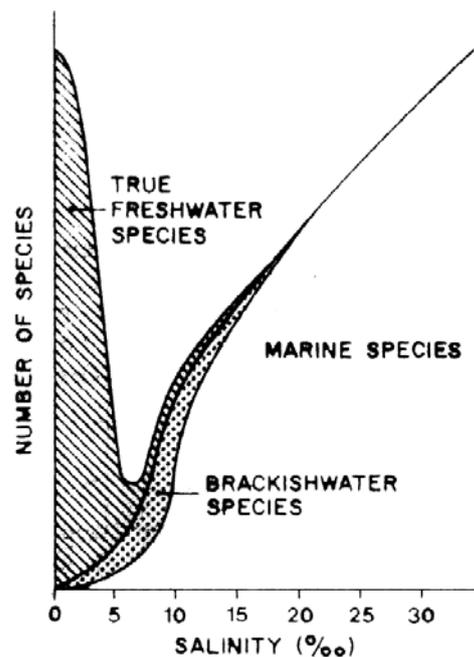
Musim berhubungan dengan *flushing time*. *Flushing time* dipengaruhi oleh variabel waktu. Dalam rentang waktu yang panjang, *flushing time* akan semakin bervariasi. *Flushing time* dapat mempengaruhi hidrodinamika, sedimen, dan proses kualitas air (Ji, 2008). Musim juga berhubungan dengan temperatur. Umumnya, musim kemarau memiliki temperatur yang lebih tinggi daripada musim hujan. Begitu pula dengan keadaan curah hujan di setiap musim yang berbeda akan mempengaruhi aliran sungai yang membawa parameter-parameter kualitas air.

2.2.2.3 Temperatur dan Salinitas

Temperatur berpengaruh pada eutrofikasi baik secara biologi maupun fisika. Temperatur air sangat mempengaruhi jumlah alga, siklus kinetik unsur

hara, dan dekomposisi biologi. Perbedaan temperatur dan salinitas dapat menciptakan ruang dan gradien sementara DO pada badan perairan. Temperatur dan salinitas juga mempengaruhi densitas kolom air yang merupakan faktor sirkulasi hidrodinamika. Stratifikasi densitas dengan kolom air menyebabkan berkurangnya DO rendah vertical di dasar perairan (Ji, 2008).

Terdapat tiga komponen biota yang hidup di estuari, yaitu biota laut, perairan tawar, dan perairan payau atau estuari yang memiliki batas toleransi terhadap salinitas (Gambar 2.3). Biota laut *stenohaline* umumnya hidup di daerah dengan salinitas 30‰ atau di atasnya. Biota laut *euryhaline* memiliki batas toleransi terhadap salinitas yang luas, yaitu dibawah 30‰, dan beberapa spesies mampu bertahan hingga 3‰. Spesies estuari asli memiliki batas toleransi salinitas dari 5‰ hingga 20‰. Sedangkan biota dari perairan tawar tidak mampu menghadapi salinitas diatas 5‰ (Nybakken, 1988).



Gambar 2.3 Batas Toleransi Biota terhadap Salinitas (Pauly dan Mines, 1982 dalam www.fao.org, Tanpa Tahun).

2.2.3 Pemodelan Numerik

Model digunakan untuk membantu menyelesaikan masalah-masalah yang seringkali sangat rumit. Model umumnya memiliki dua tujuan yaitu untuk memahami kondisi dan melakukan simulasi atau memprediksi. Pada saat menggunakan model, peneliti akan berpindah dari dunia nyata ke dunia abstrak dengan menggunakan konsep-konsep dimana model dibuat.

Pemodelan matematika merupakan model yang dibuat dengan menggunakan konsep matematika seperti fungsi dan persamaan. Kemudian model dikontrol dengan menggunakan teknik matematika ataupun dengan komputasi numerik (Edwards, 1989). Model yang dikontrol dengan komputasi numerik inilah yang kemudian biasa disebut pemodelan numerik. Secara luas, pemodelan numerik untuk kelautan terkait dengan bagaimana memilih perkiraan dan bagaimana menganalisa konsekuensinya.

Di dalam pemodelan numerik kelautan ini dibutuhkan pengetahuan mengenai hidrodinamika dan kondisi awal dari area studi. Umumnya aliran yang terjadi di laut dikarenakan oleh angin, sehingga pengetahuan yang baik tentang angin dan batimetri akan membantu peneliti untuk menentukan pola aliran laut dengan sangat nyata (O'Brien, 1986). Banyak jenis model numerik untuk kelautan yang telah berkembang hingga saat ini, salah satunya adalah Mike 21.

MIKE 21

Mike 21 merupakan *software* yang berisi pemodelan komprehensif untuk program komputer dengan *2D free-surface flows*. Program yang dikembangkan oleh *DHI Water & Environment* ini dapat diaplikasikan untuk simulasi hidrolika dan fenomena di danau, sungai, estuari, teluk, pantai dan laut. Mike 21 terdiri dari beberapa modul, berikut beberapa contoh modul tersebut:

1. Modul Hidrodinamika (HD)

Modul HD merupakan modul dasar dari MIKE 21 Model Aliran yang menyediakan dasar hidrodinamika untuk komputasi modul hidrolika lingkungan. Model ini digunakan untuk menghitung perilaku hidrodinamika air terhadap berbagai macam fungsi gaya seperti kondisi angin tertentu dan muka air yang sudah ditentukan di *open model boundaries*. Modul ini juga mensimulasi

perbedaan muka air dan arus dalam menghadapi berbagai fungsi gaya. Efek dan fasilitasi pada modul ini adalah *bottom shear stress, wind shear stress, barometric pressure gradients, coriolis force, momentum dispersion, sources and sinks, evaporation, flooding and dying, wave radiation stresses* (DHI, 2012a)

Persamaan yang digunakan untuk melakukan analisa hidrodinamika dengan MIKE 21 adalah:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t} \quad (3.1)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_q - fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (P_a) = 0 \quad (3.2)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_p - fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial xy} (P_a) = 0 \quad (3.3)$$

- Dimana, $h(x, y, t)$ = kedalaman perairan (m)
 $d(x, y, t)$ = variasi kedalaman air terhadap waktu (m)
 $\zeta(x, y, t)$ = *surface elevation* (m)
 $p, q(x, y, t)$ = *flux density* pada arah -x dan -y ($m^3/s/m$) = (uh, vh) ; (u, v)
= rata-rata kecepatan di tiap kedalaman
 $C(x, y)$ = koefisien resistan Chezy ($m^{1/2}/s$)
 g = percepatan gravitasi (m/s^2)
 $f(V)$ = faktor friksi angin
 $V, V_x, V_y(x, y, t)$ = kecepatan angin pada -x dan -y (m/s)
 $\Omega(x, y)$ = parameter Coriolis, bergantung pada latitude (s^{-1})
 $P_a(x, y, t)$ = tekanan atmosfer ($kg/m/s^2$)
 ρ_w = densitas air (kg/m^3)
 x, y = koordinat ruang (m)
 t = variable waktu (s)
 $\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$ = komponen *shear stress* efektif

(DHI, 2012a)

Dimana persamaan 3.1 adalah persamaan kontinuitas, dan persamaan 3.2 dan 3.3 adalah persamaan momentum terhadap x dan terhadap y.

2. Modul ECO Lab

ECO Lab merupakan lab numerik untuk pemodelan ekologi. Pemodelan ekologi yang dapat dimodelkan oleh ECO Lab adalah kualitas air, eutrofikasi, logam berat, dan ekologi secara umum. Modul ini umumnya digunakan untuk pemodelan kualitas air yang merupakan bagian dari penilaian dampak lingkungan (EIA) dari berbagai aktivitas manusia, dapat juga digunakan pada optimasi produksi ikan, rumput laut, dan kerang. Modul ECO Lab juga dapat menjelaskan substansi terlarut, organisme hidup, materi organik maupun anorganik. Modul ini juga dapat dikembangkan untuk menjelaskan proses kimia, biologi, dan ekologi serta interaksi antar variabel dasar dan proses fisika dari komponen sedimentasi (DHI, 2012b).

Persamaan yang digunakan untuk menganalisa data kualitas air dengan ECO Lab ini adalah:

$$P_c = \frac{dc}{dt} = \sum_{i=1}^n process_i \quad (3.4)$$

Dimana, P_c = proses ECO Lab
 c = konsentrasi dari variabel ECO Lab
 n = jumlah proses yang dimasukkan kedalam variable spesifik dan proses = ekspresi spesifik tunggal termasuk argument seperti, fungsi matematika, *built in function*, angka, gaya, variable tetap dan konstan.

Dinamika advectif dari variabel dasar ECO Lab dapat diketahui dengan persamaan transportasi berikut:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + w \frac{\partial c}{\partial z} = D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} + S_c + P_c \quad (3.5)$$

Dimana, u, v, w = komponen kecepatan

D_x, D_y, D_z = koefisien disperse
 S_c = *sources* dan *sinks*

Sehingga, persamaan transportasi dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = AD_c + P_c \quad (3.6)$$

Dimana AD_c adalah angka perubahan konsentrasi akibat adanya adveksi (berdasarkan hidrodinamika), dan dispersi termasuk *source* dan *sinks* (Suntoyo *et al.*, 2015). Selain persamaan adveksi, ECO Lab juga menyelesaikan permasalahan dengan menggunakan persamaan yang menjelaskan proses perubahan senyawa-senyawa dalam perairan karena adanya interaksi fisika, kimia, dan biologi dalam perairan. Berikut persamaan-persamaan yang digunakan untuk menghitung tiap parameter dalam ECO-Lab:

1. DO (*Dissolved Oxygen / Oksigen Terlarut*)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung DO dalam perairan adalah:

$$\frac{dDO}{dt} = \text{reaeration} - \text{BODdecay} + \text{photosynthesis} - \text{respiration} - \text{sediment oxygen demand} \quad (3.7)$$

(DHI, 2007)

Dimana, *reaeration* atau pertukaran gas oksigen yang terjadi di perairan hanya terjadi di permukaan dan *sediment oxygen demand* yang merupakan kebutuhan oksigen dalam sedimen hanya terjadi di dasar perairan.

2. BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung BOD dalam perairan adalah:

$$\frac{dBOD}{dt} = -BOD \text{ decay} \quad (3.8)$$

(DHI, 2007)

Dimana BOD *decay* adalah besarnya pengurangan material organik dalam perairan akibat adanya pembusukan yang dilakukan oleh mikroorganisme dengan menggunakan oksigen.

3. Fosfat

Persamaan yang digunakan untuk menghitung fosfat dalam perairan adalah:

$$\frac{dPO_4}{dt} = +\textit{phosphorus yield from BOD decay} - \textit{phosphorus uptake by plants} - \textit{phosphorus uptake by bacteria} \quad (3.9)$$

(DHI, 2007)

Dimana, *phosphorus yield from BOD decay* adalah fosfat yang dihasilkan dari aktivitas BOD, *phosphorus uptake by plants* merupakan fosfat yang digunakan oleh tumbuhan, dan *phosphorus uptake by bacteria* adalah fosfat yang digunakan oleh bakteri.

4. Fenol

Persamaan yang digunakan untuk menghitung fenol dalam perairan adalah:

$$\frac{dPhenol}{dt} = -\textit{phenol uptake by bacteria} \quad (3.10)$$

Dimana, *phenol uptake by bacteria* adalah jumlah fenol yang diuraikan oleh bakteri selama berada di perairan. Jumlah fenol yang dapat diurai oleh bakteri adalah sebesar 1,34 mg/L – 1,8 mg/L dalam waktu 16 jam (Dewilda, 2012).

2.2.4 Ekosistem Estuari

Estuari adalah contoh baik untuk sistem berpasangan yang mencapai keseimbangan secara baik antara unsur fisik dan biotik, oleh karenanya memiliki kecepatan tinggi dalam produktivitas biologi. Sistem ini terdiri dari beberapa

subsistem pokok yang saling berhubungan melalui air surut dan aliran air yang terdorong oleh daur hidrologi (aliran sungai) dan daur pasang-surut, yang keduanya memberikan subsidi energi kepada sistem tersebut secara keseluruhan. Subsistem utama tersebut adalah:

1. Zona produksi perairan dangkal yang kecepatan produksi primernya melebihi kecepatan respirasi komunitas. Subsistem ini meliputi terumbu, tepian sungai, dasar ganggang laut atau rumput laut, lapisan ganggang, dan paya bergaram. Sub-sistem ini mengeksport energi dan zat hara ke perairan yang lebih dalam di estuari dan di dasar pantai yang berdekatan.
2. Subsistem berendapan di selat-selat besar yang lebih dalam, selat-selat kecil, dan goba yang respirasinya melebihi produksi, di aman bahan-bahan utama dan bahan organik terlarut dari zona produksi dimanfaatkan. Di sini zat hara mengalami regenerasi, didaur ulang dan disimpan, serta vitamin dan zat tumbuh dibuat.
3. Plankton dan nekton yang bergerak bebas antara dua subsistem yang menetap, memproduksi, mengubah, dan mengangkut nutrien dan energi sewaktu menanggapi keberkalaan harian, pasang-surut, dan musiman. Subsistem ini mampu memberikan reaksi cepat pada kelimpahan maupun kelangkaan sumberdaya tempat (Odum, 1993).

Biota air yang hidup di estuari terdiri dari: (1) jenis-jenis endemik (seluruh hidupnya tinggal di estuari) seperti bermacam kerang dan kepiting serta berbagai jenis ikan, (2) spesies-spesies yang hanya tinggal untuk sementara waktu di estuari seperti larva beberapa spesies udang dan ikan yang setelah menjadi dewasa seksual bermigrasi ke laut bebas, (3) jenis-jenis biota air tawar, dan (4) jenis-jenis biota laut. Tanaman di estuari terdiri atas tanaman besar (makro) dan mikro. Tanaman besar mangrove, lamun, dan algae mikro yang tumbuh di dasar perairan. Juga terdapat ganggang berukuran mikroskopis kecil yang hidup sebagai fitoplankton atau fitobenthik (Direktorat pesisir dan lautan, 2009).

Dilihat dari sudut pandangan manusia, estuari selalu dianggap sebagai suatu lingkungan multi guna, yang berarti bahwa kompromi dalam pemanfaatan yang saling bertentangan harus dilakukan, dengan pengertian demi kesejahteraan semua. Oleh karena setiap makhluk (manusia dan organisma) hidup di arah hilir

setiap makhluk lain di estuari, perubahan atau pencemaran pada suatu tempat akan mempengaruhi tempat lain pada kedua arah pasang dan surut, dan bahkan pada samudra yang berdampingan. Sehingga, semua ekosistem estuari harus dipelajari, dipantau, dikelola, dibatasi dan diatur pemanfaatannya dalam pengertian secara keseluruhan. Jika tidak estuari hanya dapat mengalami pencemaran.

2.2.5 Pengaruh Kualitas Air terhadap Ekosistem Perairan

Biota merupakan anggota penghuni ekosistem perairan. Untuk tumbuh optimal, biota membutuhkan lingkungan hidup yang optimal juga, terutama kualitas airnya. Parameter-parameter kualitas air termasuk karakteristik fisik dan kimia dapat digunakan untuk mengetahui kondisi kualitas air maupun lingkungan perairan tempat hidup biota. Beberapa parameter kualitas air yang dapat menunjukkan pengaruhnya terhadap ekosistem perairan adalah sebagai berikut:

1. Oksigen Terlarut (DO)

Oksigen yang diperlukan biota air untuk pernapasannya harus terlarut dalam air. Oksigen merupakan salah satu faktor pembatas, sehingga bila ketersediaannya di dalam air tidak mencukupi kebutuhan biota, maka segala aktivitas biota akan terhambat. Menurut Zonneveld dkk. (1971) dalam Kordi (2007), ikan membutuhkan oksigen untuk memenuhi dua aspek, yaitu kebutuhan lingkungan bagi spesies tertentu dan kebutuhan konsumtif yang tergantung pada metabolisme ikan. Perbedaan kebutuhan oksigen dalam suatu lingkungan bagi setiap spesies disebabkan oleh adanya perbedaan struktur molekul sel darah ikan, yang mempengaruhi hubungan antara tekanan parsial oksigen dalam air dan derajat kejenuhan oksigen dalam sel darah.

Ketersediaan oksigen bagi biota menentukan lingkaran aktivitasnya, konversi pakan, dan laju pertumbuhan dengan ketentuan faktor kondisi lainnya adalah optimum. Karena itu, kekurangan oksigen dalam air dapat mengganggu kehidupan biota, termasuk kepesatan pertumbuhannya. Menurut Kordi (2007), meskipun beberapa ikan mampu bertahan pada perairan dengan konsentrasi oksigen 3 ppm, namun konsentrasi minimum yang masih bisa diterima sebagian besar spesies untuk hidup dengan baik adalah 5 ppm. Pada perairan dengan

konsentrasi oksigen dibawah 4 ppm, beberapa jenis ikan masih mampu bertahan hidup akan tetapi nafsu makannya mulai menurun.

Pada waktu fajar, konsentrasi oksigen terlarut rendah dan semakin tinggi pada siang hari yang disebabkan oleh fotosintesis. Pada malam hari dimana suhu menjadi rendah yang diikuti dengan meningkatnya aktivitas fitoplankton maupun kebutuhan bernafas ikan maupun tumbuhan air, sering mengakibatkan turunnya kandungan oksigen (Amri, dkk., 2008). Rendahnya kadar oksigen dapat berpengaruh terhadap fungsi biologis dan lambatnya pertumbuhan. Pada oksigen terlarut rendah, lebih rendah dari 50% konsentrasi jenuh, tekanan parsial oksigen dalam air cukup tinggi untuk memungkinkan penetrasi oksigen ke dalam lamella insang hingga biota mati lemas. Pada konsentrasi lewat jenuh, lebih tinggi 150% konsentrasi jenuh, penetrasi oksigen dalam lamella terlalu cepat sehingga dapat mengakibatkan *gas bubble disease*, ditandai dengan keberadaan gelembung udara yang banyak dalam lamella.

2. *Biological Oxygen Demand* (BOD)

Mikroorganismenya seperti bakteri berperan dalam membusukkan sampah organik. Ketika sampah-sampah organik seperti tumbuhan mati, potongan-potongan dedaunan, kotoran, ataupun sampah makanan masuk ke dalam perairan, bakteri akan memulai prosesnya untuk membusukkan sampah-sampah tersebut. Ketika hal tersebut terjadi maka ketersediaan oksigen terlarut akan dikonsumsi oleh bakteri aerob, meskipun organisme akuatik lainnya juga membutuhkan oksigen untuk kehidupan mereka. BOD merupakan pengukur oksigen yang digunakan oleh mikroorganismenya tersebut untuk membusukkan sampah (Polyseed, Tanpa Tahun).

Menurut Salmin (2005), parameter BOD umumnya dipakai untuk menentukan tingkat pencemaran air buangan. Ketika BOD tinggi maka konsentrasi DO menurun karena oksigen yang ada di perairan dikonsumsi oleh bakteri. Dengan berkurangnya DO di perairan maka ikan dan organisme perairan lainnya tidak dapat bertahan hidup.

3. Fosfat

Fosfor (P) dalam bentuk fosfat (PO_4) merupakan unsur hara (nutrisi) yang diperlukan tumbuhan laut untuk pertumbuhan dan perkembangan hidupnya. Unsur kimia ini bersama dengan unsur-unsur lainnya seperti nitrogen (N), belerang (S), kalium (K), dan karbon (C) disebut juga unsur hara (nutrien). Zat-zat hara ini dibutuhkan oleh fitoplankton maupun tanaman yang hidup di laut untuk pertumbuhannya (Edward, 2003). Perubahan kandungan fosfat di laut dapat dijadikan sebagai indikator dari pergerakan massa air dan indeks pertumbuhan tanaman dan produktivitas suatu perairan.

Menurut Risamasu, dkk. (2011), konsentrasi fosfat rata-rata baik di lapisan permukaan maupun di lapisan dekat dasar adalah 0,006 mg/L. Adanya kadar fosfat yang tinggi dan rendah pada kedalaman-kedalaman tertentu dapat disebabkan oleh arus laut pada kedalaman tersebut yang membawa fosfat dan kelimpahan fitoplankton. Dengan adanya proses *upwelling*, maka semua fosfat yang ada di dasar perairan akan terangkat naik ke permukaan sehingga lapisan permukaan menjadi subur akibat terjadinya pengayaan zat hara ini (Edward, dkk., 2003). Kesuburan perairan tersebut pada akhirnya akan mendatangkan fenomena *blooming* atau ledakan populasi fitoplankton yang mengakibatkan kematian berbagai jenis ikan. Menurut Simanjuntak (2007), beberapa biota masih mampu bertahan dengan fosfat pada konsentrasi-konsentrasi tertentu. Kerang hijau dan kerang bulu masih dapat bertahan pada kondisi perairan dengan konsentrasi fosfat sebesar 0,02-0,03 ppm, 0,02-0,1 ppm untuk tiram, dan 0,006-0,02 ppm untuk beronang, kakap dan kerapu.

4. Fenol

Senyawa fenol dapat didegradasi oleh mikroorganisme pengurai fenol namun jumlah dan kemampuan mikroorganisme pengurai fenol sangat terbatas. Kehadiran senyawa fenol di laut dapat membahayakan kehidupan biota laut karena fenol bersifat toksik (Dewilda, dkk., 2012). Fenol memiliki tingkat bioakumulasi yang cukup tinggi sepanjang rantai makanan, sehingga pencemaran fenol menyajikan ancaman tidak hanya terhadap lingkungan alam namun juga untuk kesehatan manusia. Selain itu, fenol dan turunannya termasuk dalam salah

satu bahan kimia berbahaya dalam ekosistem perairan yang berpotensi sebagai *endocrine disrupting chemical* (EDC) dan juga termasuk dalam daftar polutan prioritas EPA oleh karena kehadiran senyawa tersebut pada hewan air dan terrestrial (Sari, dkk., 2014).

Menurut Panggabean (1994) dalam Rachmawati, dkk. (2003), fenol yang merupakan bahan pencemar terdeteksi dalam lingkungan laut Indonesia dengan konsentrasi berkisar antara 0,002-5,25 mg/L. Kontaminasi fenol di lingkungan perairan mengakibatkan menurunnya berat dan fertilitas biota di perairan tersebut. Pengaruh lainnya adalah kerusakan DNA pada ikan. Menurut Stephenson, dkk. (1994) dalam Mahmoud (2009) terdapat beragam pengaruh fenol untuk spesies yang berbeda-beda. Beberapa spesies alga dapat mengalami perlambatan pertumbuhan sedangkan untuk jenis moluska kerang-kerangan, udang, dan ikan dapat mengalami kematian karena adanya kontaminasi fenol tersebut.

2.2.6 Baku Mutu Air Laut

Baku mutu air laut merupakan ukuran batas atau kadar makhluk hidup, zat, energi atau komponen yang ada atau harus ada, ataupun unsur pencemar yang ada di dalam laut (Kepmen LH No. 51/2004). Sesuai Kepmen LH No. 51/2004, terdapat baku mutu air laut untuk beberapa kriteria yaitu untuk wisata bahari dan biota laut. Baku mutu air laut untuk biota laut dapat dilihat pada Lampiran 1.

2.2.7 Strategi Pengelolaan Wilayah Estuari berdasarkan Kualitas Air

Sumberdaya pesisir dan laut memiliki manfaat yang cukup besar sehingga banyak aktivitas manusia yang bertujuan untuk memanfaatkan sumberdaya tersebut. Menurut Mukhtasor (2007), terdapat dua kelompok pemanfaat sumberdaya pesisir dan laut. Kelompok pertama adalah kelompok masyarakat yang berkepentingan atas produksi barang (seperti perikanan tangkap dan perikanan budi daya) dan jasa (seperti pelabuhan dan pariwisata laut). Kelompok kedua merupakan kelompok masyarakat yang memanfaatkan laut untuk pembuangan limbah. Kegiatan dari kedua kelompok tersebut memiliki potensi dalam pencemaran lingkungan pesisir dan laut. Di seluruh dunia, hanya

terdapat 0,5% aktivitas manusia yang bergerak pada perlindungan dan restorasi keanekaragaman hayati wilayah pesisir (Kay dan Alder, 2005).

Banyak aktivitas yang dilakukan di wilayah perairan saat ini, terutama estuari menggunakan perhitungan resiko atau dampak yang mungkin terjadi, salah satunya adalah dengan mengaplikasikan kriteria dan standar kualitas air. Hasil dari kriteria kualitas air dapat digunakan untuk mengestimasi bahaya yang mungkin terjadi (Newman *et al.*, 2002). Estimasi bahaya yang mungkin terjadi tersebut digunakan dalam penyusunan kebijakan/regulasi sehingga kelompok-kelompok masyarakat yang memanfaatkan sumberdaya dapat diatur. Kebijakan/regulasi digunakan untuk mengatur pengelolaan sumber daya yang digunakan secara bersama dan bijaksana. Terdapat beberapa model kebijakan pengelolaan sumber daya pesisir dan laut bersama yang berkelanjutan dan menguntungkan, yaitu model tragedy sumber daya bersama, model dilema narapidana, dan model logika koleksi aktif (Mukhtasor, 2007). Pengelolaan sumber daya estuari mempunyai makna yang sama dengan pengelolaan lingkungan hidup seperti dalam Undang-Undang Nomor 23 Tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup dan harus mengacu pada Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2007 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. Dalam undang-undang tersebut, pengelolaan lingkungan hidup diartikan sebagai upaya terpadu untuk melestarikan fungsi lingkungan hidup yang meliputi kebijaksanaan penataan, pemanfaatan, pengembangan, pemeliharaan, pengawasan, dan pengendalian lingkungan hidup.

Pengelolaan wilayah perairan terutama estuari harus berdasarkan konsep wilayah yang telah direncanakan oleh pemerintah. Wilayah pesisir dan lautan termasuk estuari termasuk dalam keempat jenis konsep wilayah, yaitu wilayah homogen karena wilayah ini memiliki kesamaan aktivitas yaitu memproduksi ikan, dapat juga dikatakan wilayah nodal, karena seringkali dikatakan sebagai wilayah belakang, sedangkan daerah perkotaan sebagai intinya. Sebagai wilayah administrasi karena dapat berupa wilayah administrasi kecil seperti kecamatan atau desa. Sedangkan sebagai wilayah perencanaan, batas wilayah pesisir lebih ditentukan dengan kriteria ekologis (Budiharsono, 2005).

Pengelolaan wilayah pesisir berdasarkan Pemerintah dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan paksaan dan dengan menggunakan penelitian dan informasi. Penelitian untuk pengelolaan wilayah pesisir cukup banyak, seperti penentuan dengan zonasi. Zonasi merupakan salah satu cara perencanaan dan pengelolaan pesisir yang sangat sederhana dan sering digunakan. Cara lain adalah dengan menggunakan aspek sosial yang memperhatikan emosi, jaringan kepercayaan dan kebudayaan, serta nilai komunitas masyarakat. Cara selanjutnya yang lebih efektif adalah dengan *community-based management*, yaitu dengan memodifikasi aktivitas manusia pada sumber masalah untuk membantu pengaturan wilayah dan sumber daya yang objektif (Kay dan Alder, 2005).

Berdasarkan pasal UU No. 27/2007 tentang pengelolaan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil, terdapat hirarki perencanaan pesisir dan pulau-pulau kecil, yaitu berupa:

1. Rencana strategis pengelolaan

Rencana strategis pesisir harus mempertimbangkan isu strategis yang muncul dalam pengelolaan wilayah pesisir di daerah masing-masing. Secara sistematis, sebuah rencana strategis mengandung visi, misi, kebijakan, dan program pengelolaan wilayah pesisir.

2. Rencana zonasi wilayah

Merupakan arahan pemanfaatan sumber daya pesisir berbasis spasial yang harus diselaraskan dengan rencana tata ruang wilayah (RTRW) daerah pesisir dengan mempertimbangkan 3 hal seperti keserasiain, keterpaduan pemanfaatan berbagai jenis sumberdaya, dan berbagai fungsinya, serta kewajiban untuk mengalokasikan ruang dan akses masyarakat dalam pemanfaatan wilayah.

3. Rencana pengelolaan wilayah

Rencana pengelolaan harus berisi kebijakan tentang pengaturan serta prosedur administrasi penggunaan sumberdaya yang diijinkan dan yang dilarang, skala prioritas pemanfaatan sumberdaya sesuai dengan karakteristik wilayah pesisir, jaminan terakomodasinya pertimbangan-pertimbangan hasil Konsultasi Publik dalam penetapan tujuan pengelolaan, mekanisme pelaporan yang teratur dan sistematis, dan ketersediaan sumber daya manusia yang terlatih untuk mengimplementasikan kebijakan dan prosedurnya.

4. Rencana aksi pengelolaan wilayah

Rencana ini dilakukan dengan mengarahkan rencana pengelolaan dan rencana zonasi sebagai upaya mewujudkan rencana strategis (Direktorat pesisir dan lautan, 2009).

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian adalah muara sungai Wonorejo. Titik pengambilan sampel berawal dari depan dermaga eco-wisata mangrove Wonorejo dan berakhir di selat Madura, di depan muara sungai Wonorejo. Lokasi penelitian dan titik-titik pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 3.1

Penelitian dilaksanakan selama sebelas (11) bulan dimulai sejak bulan Agustus 2015 hingga bulan Juni 2016 (Tabel 3.1), dengan pengukuran di lapangan secara langsung pada bulan Agustus 2015. Pengukuran di lapangan secara langsung berupa pengukuran bathimetri, dan pengambilan sampel kualitas air. Untuk lebih jelasnya tahapan dalam penelitian ini secara sederhana dapat digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 3.2.

Tabel 3.1 Waktu Penelitian

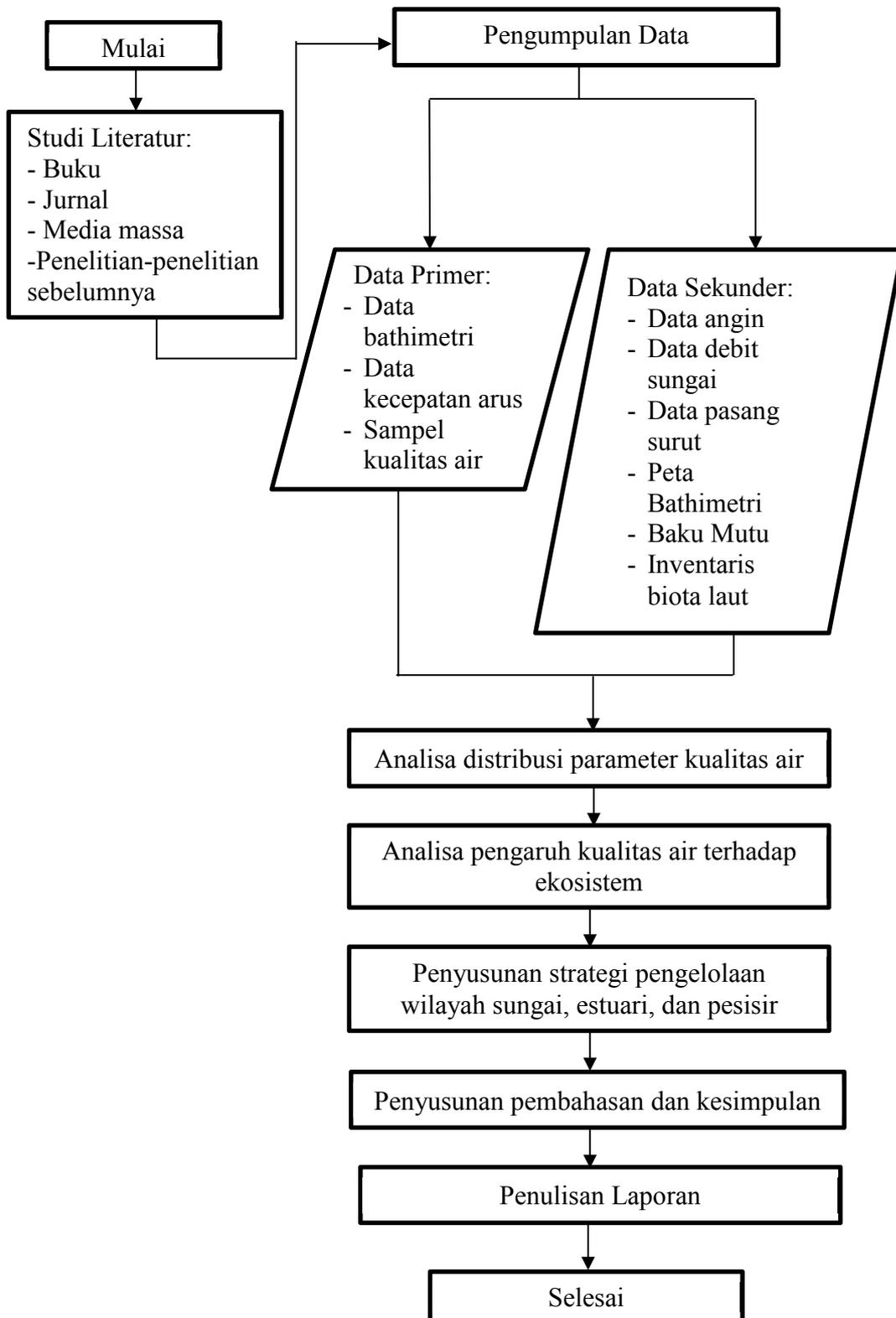
Kegiatan	Bulan ke-										
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Studi Literatur											
Pengumpulan Data Primer											
Pengumpulan Data Sekunder											
Pemodelan											
Analisa Sebaran Kualitas Air											
Analisa Pengaruh Kualitas Air terhadap Ekosistem											
Analisa Strategi Pengelolaan Wilayah											
Penulisan Laporan											

Sumber: Data diolah, 2015

Tabel 3.2 Metode Pengumpulan Data

No.	Uraian	Tujuan	Lokasi	Metode
1	Data angin	Untuk mengetahui kecepatan & arah angin	Fetch/ Surabaya	Transpor data dari BMKG Surabaya
2.	Data Pasang surut	Untuk mengetahui elevasi muka air pasang tertinggi (HWS), muka air pasang terendah (LWS), dan muka air tengah (MSL)	Surabaya	transpor data dari DISHIDROS-AL
4.	Debit sungai	Untuk mengetahui debit sungai	Sungai Wonorejo	Transpor data dari Jasa Tirta
5.	Kecepatan Arus	Untuk mengetahui kecepatan arus	Muara sungai Wonorejo	Pengukuran langsung di lapangan
6.	Peta Bathimetri	Untuk mengetahui kontur dasar laut disekitar lokasi penelitian	Muara sungai dan pantai Wonorejo	pengukuran langsung di lapangan
7.	Kualitas air	Untuk mengetahui konsentrasi parameter kualitas air	Muara sungai Wonorejo	Pengambilan sampel air di lokasi penelitian
8	Baku Mutu	Untuk mengetahui kelas kualitas air	Sungai wonorejo	Transpor data dari Kepmen LH 51/2004 dan Perda Jatim No. 2 Tahun 2004
9.	Inventaris Biota Laut Estuari Wonorejo	Untuk mengetahui jenis-jenis biota laut yang hidup di estuari Wonorejo	Sungai, Muara Sungai, dan Pesisir Wonorejo	Transpor data dari Badan Lingkungan Hidup Surabaya, Dinas Pertanian Surabaya, dan wawancara nelayan

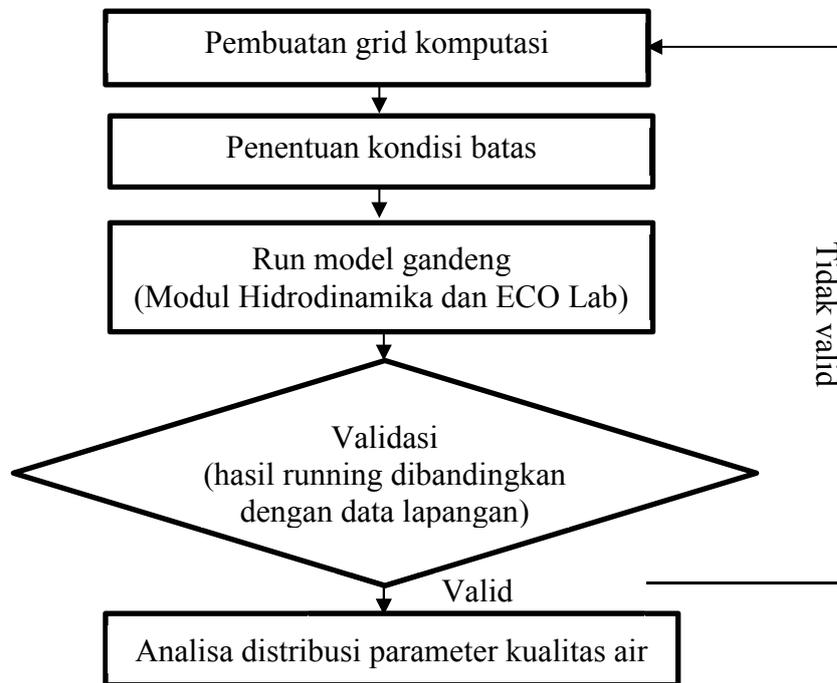
Sumber: Data diolah, 2015



Gambar 3.2 Diagram Alir Kerangka Penelitian (Data diolah, 2016)

3.2 Analisa Sebaran Parameter Kualitas Air

Analisa sebaran parameter kualitas air dilakukan dengan memodelkan sebaran parameter kualitas air memakai *software* MIKE 21. Terdapat dua modul yang dipakai dalam menganalisa distribusi parameter kualitas air, yaitu modul hidrodinamika dan modul eco-Lab. Adapun langkah-langkah dalam melakukan analisa sebaran parameter kualitas air dengan menggunakan perhitungan dan simulasi dari MIKE 21 sebagai berikut:



Gambar 3.3 Diagram alir simulasi distribusi kualitas air dengan MIKE 21 (Data diolah, 2016)

3.3 Analisa Pengaruh Kualitas Air terhadap Ekosistem

Pengaruh kualitas air terhadap ekosistem dianalisa dengan membandingkan konsentrasi parameter kualitas air dengan baku mutu kualitas air, menganalisa batas toleransi biota laut yang hidup di daerah penelitian, maupun menganalisa kondisi ekosistem perairan berdasarkan konsentrasi parameter-parameter kualitas air. Berikut penjelasan beberapa analisa yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh kualitas air terhadap ekosistem.

3.3.1 Analisa Kriteria Baku Mutu Kualitas Air

Untuk melakukan analisa kriteria baku mutu kualitas air dilakukan dengan membandingkan sampel kualitas air yang telah diuji di laboratorium dan menunjukkan hasil konsentrasi tiap parameter baik parameter fisik maupun kimia dengan baku mutu kualitas air yang telah tercantum pada Kepmen LH 51/2004, lampiran baku mutu kualitas air untuk biota laut.

3.3.2 Analisa Kondisi Ekosistem Perairan berdasarkan Konsentrasi Parameter-Parameter Kualitas Air

Setiap biota laut memiliki batas toleransi terhadap parameter-parameter kualitas air yang berbeda. Begitu pula kondisi ekosistem perairan yang dapat berubah karena kualitas airnya. Tahap ini diawali dengan mengidentifikasi jenis-jenis biota laut yang hidup di lokasi penelitian. Setelah jenis-jenis biota laut yang hidup di lokasi penelitian diketahui maka dapat diketahui pula batas toleransi untuk tiap biota laut tersebut. Selanjutnya, dilakukan analisa data apakah konsentrasi parameter-parameter kualitas air masih dapat ditoleransi oleh biota laut yang hidup di lokasi penelitian ataukah tidak dan analisa pengaruh kualitas air tersebut terhadap ekosistem perairan berdasarkan data batas toleransi biota terhadap beberapa parameter (dalam penelitian ini digunakan parameter DO) dan hubungan konsentrasi parameter kualitas air dan kondisi ekosistem perairan berikut.

Tabel 3.3 Batas Toleransi Biota terhadap DO

No.	Jenis Biota	Konsentrasi
1	Cacing	≥ 1 mg/L
2	Kepiting, kerang, dan ikan kecil	≥ 3 mg/L
3	Ikan endemik estuari	≥ 4 mg/L
4	Ikan migran dan larvanya	$\geq 5-6$ mg/L

Sumber: Chesapeake Bay Program, 2012.

Tabel 3.4 Kondisi Perairan berdasarkan Konsentrasi BOD

No.	Kondisi Perairan	Konsentrasi
1.	Sangat Baik Kemungkinan tidak banyak limbah organik di perairan	1 – 2 mg/L
2.	Sedang. Umumnya Bersih	3 – 5 mg/L
3.	Buruk: Sedikit Terpolusi Biasanya terindikasi ada limbah organik dan bakteri yang membusukkan limbah tersebut	6 – 9 mg/L
4.	Sangat Buruk: Sangat Terpolusi Perairan berisi limbah organik	10 mg/L atau lebih

Sumber: Polyseed, Tanpa Tahun.

Tabel 3.5 Kondisi Perairan berdasarkan Konsentrasi Fosfat

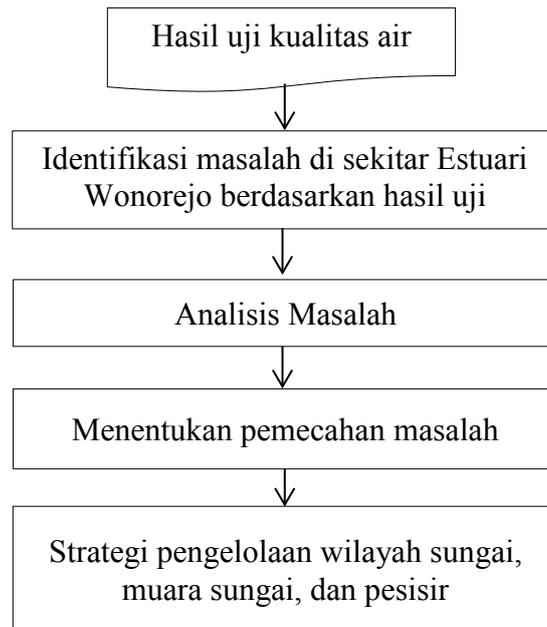
No.	Kondisi Perairan	Konsentrasi
1.	Kurang subur	0 – 0,002 mg/L
2.	Cukup subur	0,0021 – 0,05 mg/L
3.	Subur	0,051 – 0,1 mg/L
4.	Sangat subur	0,101 – 0,2 mg/L
5.	Sangat subur sekali	>0,201 mg/L

Sumber: Joshimura *dalam* Patty, 2013.

Kemudian disusun pembahasan mengenai dampak parameter-parameter kualitas air terhadap ekosistem perairan estuari, termasuk dampaknya terhadap biota laut penghuni perairan estuari Wonorejo.

3.4 Penyusunan Strategi Pengelolaan Wilayah Sungai, Muara Sungai, dan Pesisir

Strategi pengelolaan wilayah sungai, muara sungai, dan pesisir dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:



Gambar 3.4 Diagram alir penyusunan strategi pengelolaan wilayah sungai, muara sungai dan pesisir (Data diolah, 2016)

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Muara sungai Wonorejo masuk dalam kawasan pantai timur Surabaya (Pamurbaya) yang terletak di bagian timur kota Surabaya dan berbatasan langsung dengan Selat Madura pada koordinat $7^{\circ}15'19,60''$ LS - $7^{\circ}17'13,25''$ LS, $112^{\circ}48'35,69''$ BT - $112^{\circ}48'40,72''$ BT, terletak di Kelurahan Wonorejo, Kecamatan Rungkut (BLH Surabaya, 2013). Muara sungai Wonorejo termasuk dalam kawasan konservasi karena potensi sumber daya alam dan keragaman hayati yang tinggi dan merupakan salah satu wilayah yang ditetapkan oleh Pemerintah Kota Surabaya sebagai “Wana-Mina” yang berada di kawasan pantai timur dari daerah Kenjeran hingga Gunung Anyar Tambak (BLH Surabaya, 2011b). Kawasan konservasi di daerah Wonorejo ini sebagian telah menjadi ekowisata Mangrove yang memiliki dua dermaga, satu di daerah sungai, dan pos pantau lainnya berada di muara sungai yang berfungsi untuk memantau hutan mangrove dan burung-burung yang hidup di kawasan tersebut, sebagai tempat bersandarnya kapal-kapal nelayan dan untuk tujuan wisata (Gambar 4.1).

Muara sungai Wonorejo juga merupakan habitat bagi ekosistem mangrove, mudflat, maupun estuari karena kawasan ini terbentuk dari hasil pengendapan baik dari sedimentasi air sungai maupun karena adanya pengaruh pasang surut, sehingga kondisinya cenderung berlumpur (BLH Surabaya, 2013). Salah satu spesies yang cukup banyak ditemukan di muara sungai Wonorejo adalah burung pantai dan wilayah ini juga merupakan habitat asli bagi spesies tersebut. Mudflat yang cukup luas menjadikan sungai ini memiliki banyak keragaman fauna, terutama dari jenis kerang.

Beberapa contoh jenis kerang yang hidup di wilayah estuari Wonorejo adalah kerang batik (*Ruditapes philippinarum*), kerang bulu (*Anadara antiquata*), kerang darah (*Anadara granosa*), kerang hijau (*Perna viridis*), dan kerang nenek (*Natica tigrina*). Beberapa jenis udang dan kepiting yang hidup di wilayah estuari Wonorejo adalah udang galah (*Macrobrachium rosenbergii*), udang putih

(*Penaeus indicus*), udang ronggeng (*Oratosquilla* sp.), udang windu (*Penaeus monodon*), kepiting bakau (*Scylla serrata*), kepiting green mud (*Scylla paramamosain*), dan kepiting paddler (*Varuna yui*). Dan beberapa contoh jenis ikan yang hidup di wilayah tersebut adalah bandeng (*Chanos chanos*), belanak (*Liza subviridis*), ikan lidah (*Cynoglossus lingua*), ikan manyung (*Arius thalassinus*), dan jendil (*Pangasius micronemus*) (BLH Surabaya, 2013).



Gambar 4.1 Dermaga II Muara Sungai Wonorejo (Foto Pribadi, 2016)

Menurut badan perencanaan pembangunan kota Surabaya, muara sungai Wonorejo merupakan bagian dari zona IV. Daerah tersebut banyak dimanfaatkan sebagai area penelitian dan daerah tangkap ikan serta pembudidayaan. Masyarakat sekitar banyak memanfaatkan laut sebagai daerah penangkapan ikan. Mata pencaharian masyarakat sekitar umumnya adalah nelayan dan petani tambak sehingga sangat banyak mangrove yang telah beralih fungsi menjadi tambak. Menurut Ratno, Ketua kelompok tani tambak Trunojoyo, tambak yang dibuat oleh masyarakat adalah tambak tradisional dengan ikan bandeng dan udang windu sebagai biota yang dibudidaya. Tambak tradisional merupakan tambak alami yang tidak menggunakan pakan pada budidaya, dengan memberi pupuk agar algae dan

lumut tumbuh alami di dalam tambak sebagai pakan untuk biota yang dibudidaya. Tambak tradisional ini memiliki pintu air yang memasukkan air laut untuk air tambak pada saat pasang dan air buangnya kemudian dikeluarkan ke laut melewati sungai pada saat surut.



Gambar 4.2 Tambak Tradisional di Wonorejo (Foto Pribadi, 2015)

Pembangunan industri, pemukiman dan pertanian yang terus meningkat di sepanjang sungai menyebabkan muara sungai Wonorejo mengalami pencemaran dan umumnya masyarakat memanfaatkan kawasan mangrove disana sebagai tempat pembuangan limbah mereka (Amaliyah et al., 2012). Meskipun mangrove semakin bertambah ke arah laut namun terjadi cukup banyak pengurangan di daratan akibat alih fungsi lahan untuk pemukiman terutama adanya cukup banyak pembangunan perumahan yang sangat dekat dengan kawasan konservasi mangrove. Permasalahan lain juga berasal dari sungai Aveur yang terletak tepat di sebelah muara sungai Wonorejo (Gambar 4.3). Sungai ini merupakan tempat pembuangan limbah dari beragam industri sehingga sungai tersebut menjadi sangat tercemar hingga memiliki warna keruh yang pekat dan berbau. Pencemaran dari sungai Aveur ini juga mempengaruhi perairan di muara sungai Wonorejo.

Berdasarkan data BLH Surabaya (2013), perairan laut di daerah Wonorejo memiliki kekeruhan, padatan tersuspensi, fosfat, nitrat, dan total koliform yang telah melebihi baku mutu dengan indeks diversitas plankton 1,7175 dan tergolong sebagai perairan yang tercemar ringan.

4.2 Hasil Pengukuran Parameter Kualitas Air di Estuari Wonorejo

Pengukuran parameter kualitas air dilakukan dengan cara mengambil sampel air di beberapa titik lokasi yang ditentukan untuk mendapatkan jumlah konsentrasi parameter-parameter kualitas air. Beberapa titik lokasi tersebut diambil di daerah sungai, muara sungai, dan laut yang berhubungan langsung dengan estuari Wonorejo. Pengukuran dilakukan pada tanggal 23 Agustus 2015, pukul 09.14 WIB hingga 15.53 WIB ketika kondisi laut surut (Lampiran 3). Parameter-parameter kualitas air yang diukur adalah DO (*Dissolved Oxygen*), BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), Fosfat, dan Fenol.

4.2.1 Hasil Pengukuran Parameter Kualitas Air di Sungai

Sungai Wonokromo merupakan sungai yang bermuara di estuari Wonorejo dan biasa disebut sebagai Kali Londo oleh warga Wonorejo. Pada sungai ini, diambil dua titik pengukuran yang berlabel 1 dan 2 di lokasi penelitian pada bab sebelumnya (Gambar 3.1). Titik 1 terletak pada 07°18.436' S, 112°49.397' E, dan titik 2 terletak pada 07°18.447' S, 112°49.618' E. Jumlah konsentrasi tiap parameter kualitas air yang diukur di sungai Wonokromo dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Jumlah Konsentrasi Parameter Kualitas Air di Sungai Wonokromo

	DO	BOD	Fosfat	Fenol
Titik 1	5,4 mg/L	5 mg/L	0,054 mg/L	0,021 mg/L
Titik 2	6,2 mg/L	2 mg/L	0,17 mg/L	0,017 mg/L

Sumber: Hasil Pengukuran Lapangan, 2015

Hasil pengukuran di titik 1 dan titik 2 menunjukkan fosfat dan fenol memiliki konsentrasi yang lebih tinggi dari baku mutu kualitas air laut untuk biota yang telah ditetapkan oleh Kepmen LH No. 51 Tahun 2004. Dalam Kepmen LH No.51 Tahun 2004 disebutkan bahwa batas konsentrasi untuk parameter fosfat adalah tidak lebih dari 0,015 mg/L, sedangkan konsentrasi fosfat pada titik 1 dan 2 telah melewati batas tersebut. Begitu pula dengan fenol, baku mutu untuk fenol adalah tidak lebih dari 0,002 mg/L. Jika dibandingkan dengan baku mutu, konsentrasi fenol yang telah terukur di sungai Londo tersebut telah melewati batas baku mutu dengan jumlah yang cukup tinggi.

4.2.2 Hasil Pengukuran Parameter Kualitas Air di Muara Sungai

Pada muara sungai Wonorejo, diambil tiga titik pengukuran yang berlabel 3, 4, dan 5 di lokasi penelitian pada bab sebelumnya (Gambar 3.1). Titik 3 terletak pada 07°18.614' S, 112°50.350' E, titik 4 terletak pada 07°18.306' S, 112°50.651' E, dan titik 5 terletak pada 07°18.153' S, 112°50.785' E. Jumlah konsentrasi tiap parameter kualitas air yang diukur di muara sungai dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Jumlah Konsentrasi Parameter Kualitas Air di Muara Sungai Wonorejo

	DO	BOD	Fosfat	Fenol
Titik 3	5,6 mg/L	7 mg/L	0,185 mg/L	0,006 mg/L
Titik 4	5,8 mg/L	5 mg/L	0,191 mg/L	0,004 mg/L
Titik 5	5,6 mg/L	8 mg/L	0,123 mg/L	0,056 mg/L

Sumber: Hasil Pengukuran Lapangan, 2015

Hasil pengukuran di titik 3, titik 4, dan titik 5 menunjukkan fosfat dan fenol yang memiliki konsentrasi lebih tinggi dari baku mutu kualitas air laut untuk biota. Fosfat yang memiliki konsentrasi lebih tinggi di daerah ini dibandingkan dengan sungai Londo, hal ini dikarenakan di muara sungai Wonorejo terdapat pipa-pipa yang merupakan pintu keluar masuknya air dari dan ke tambak. Namun,

konsentrasi fenol di daerah ini lebih rendah, kecuali titik 5, daripada konsentrasi fenol di sungai Londo meskipun telah melewati batas baku mutu.

4.2.3 Hasil Pengukuran Parameter Kualitas Air di Laut

Pada laut sekitar estuari Wonorejo, diambil lima titik pengukuran yang berlabel 6, 7, 8, 9, dan 10 di lokasi penelitian pada bab sebelumnya (Gambar 3.1). Titik 6 terletak pada 07°18.031' S, 112°51.787' E, titik 7 terletak pada 07°17.649 S, 112°51.454' E, dan titik 8 terletak pada 07°17.285' S, 112°51.299' E, titik 9 terletak pada 07°18.508' S, 112°51.233' E, dan titik 10 terletak pada 07°18.941' S, 112°51.234' E. Jumlah konsentrasi tiap parameter kualitas air yang diukur di laut Wonorejo dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Jumlah Konsentrasi Parameter Kualitas Air di Laut Wonorejo

	DO	BOD	Fosfat	Fenol
Titik 6	5,4 mg/L	8 mg/L	0,028 mg/L	0,086 mg/L
Titik 7	5,7 mg/L	5 mg/L	0,025 mg/L	0,065 mg/L
Titik 8	5 mg/L	10 mg/L	0,024 mg/L	0,078 mg/L
Titik 9	5,1 mg/L	10 mg/L	0,054 mg/L	0,012 mg/L
Titik 10	5,6 mg/L	7 mg/L	0,011 mg/L	0,023 mg/L

Sumber: Hasil Pengukuran Lapangan, 2015

Hasil pengukuran di daerah laut menunjukkan bahwa konsentrasi fosfat di titik 6,7,8, dan 9 yang telah melewati batas baku mutu kualitas air laut untuk biota dan hanya di titik 10 yang memiliki konsentrasi dibawah 0,015 mg/L yang tidak melewati batas baku mutu. Sedangkan fenol memiliki konsentrasi yang tinggi dan melewati batas baku mutu di semua titik pengukuran, yaitu diatas 0,002 mg/L, konsentrasi fenol di laut ini jauh lebih tinggi dibandingkan konsentrasi fenol di sungai dan muara sungai. Sedangkan DO dan BOD masih tergolong aman dan tidak melewati batas baku mutu, dengan konsentrasi DO diatas 5 mg/L dan konsentrasi BOD kurang dari 20 mg/L.

4.3 Sebaran Parameter Kualitas Air di Estuari Wonorejo

Sebaran parameter-parameter kualitas air dalam penelitian ini menggunakan analisis numerik dengan menggunakan model MIKE 21 modul hidrodinamika dan modul ECO Lab. Dalam menggunakan MIKE 21 untuk penelitian ini, beberapa data yang perlu disiapkan adalah batimetri, kondisi batas dari daerah pemodelan. Daerah pemodelan dalam penelitian ini adalah estuari Wonorejo. Setelah data-data yang diperlukan telah disiapkan maka telah dapat dilakukan *running* model hingga diperoleh hasil pemodelan dalam modul hidrodinamika dan modul ECO Lab.

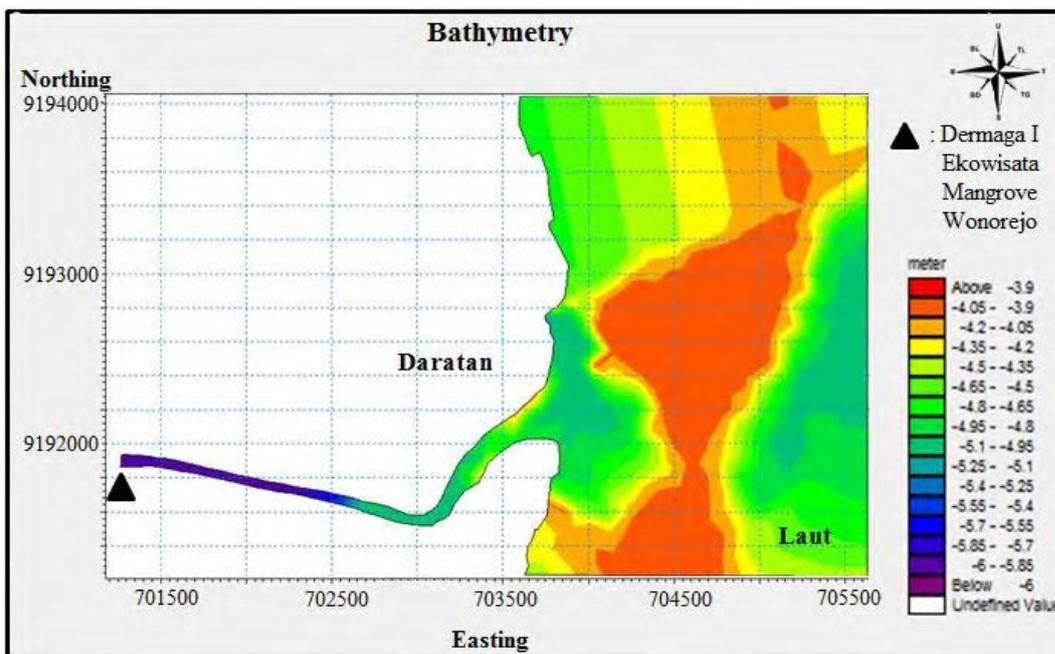
4.3.1 Pemodelan Bathimetri Estuari Wonorejo

Dalam pemodelan numerik kualitas air menggunakan MIKE 21, tahap awal yang dilakukan adalah memodelkan bathimetri lokasi pemodelan, yaitu estuari Wonorejo. Lokasi pemodelan pada estuari Wonorejo seperti pada Gambar 4.3. Lokasi pemodelan untuk perairan pada estuari Wonorejo diambil dari daerah sungai menuju muara sungai hingga ke arah laut. Pengukuran bathimetri dilakukan pada tanggal 23 Agustus 2015 untuk kemudian dijadikan sebagai *domain* model.

Pemodelan bathimetri estuari Wonorejo dilakukan dengan menggunakan *mesh generator*, dimana input yang digunakan adalah peta batimetri estuari Wonorejo yang telah diolah menjadi dua data, yaitu data darat dan laut dalam format *.xyz. Hasil dari *meshing* peta batimetri estuari Wonorejo dapat dilihat pada Gambar 4.4. Resolusi *meshing* adalah 537 *nodes* dengan elemen sebanyak 863.



Gambar 4.3 Lokasi dan Bathimetri Area Pemodelan (Modifikasi Google Earth, 2016)



Gambar 4.4 Meshing Bathimetri Estuari Wonorejo (Pemodelan dengan Mike 21, 2016)

4.3.2 Kondisi Batas Pemodelan Estuari Wonorejo

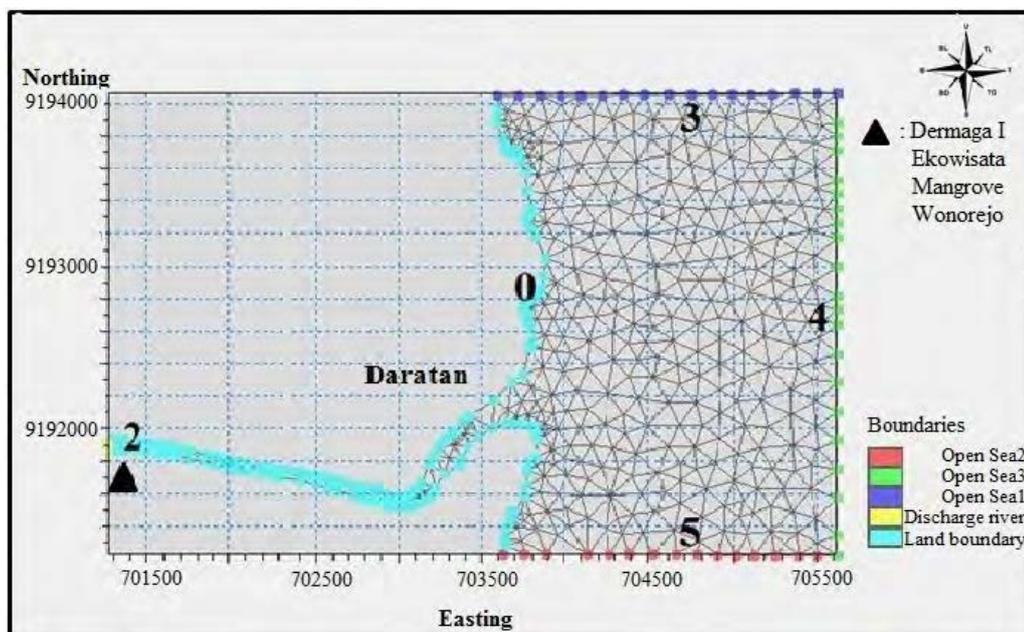
Terdapat 5 (lima) kondisi batas pada pemodelan estuari Wonorejo. Adapun data-data yang dipakai sebagai kondisi batas adalah data debit aliran sungai dan pasang surut. Rincian kondisi batas pada pemodelan estuari Wonorejo disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Kondisi Batas Pemodelan Estuari Wonorejo pada Mike 21

Kondisi Batas	Tipe	Input
0	<i>Land</i>	-
2	<i>Specified Discharge</i>	Data debit aliran sungai
3	<i>Specified Level</i>	Data pasang surut
4	<i>Specified Level</i>	Data pasang surut
5	<i>Specified Level</i>	Data pasang surut

Sumber: Pengolahan Data Sekunder, 2015

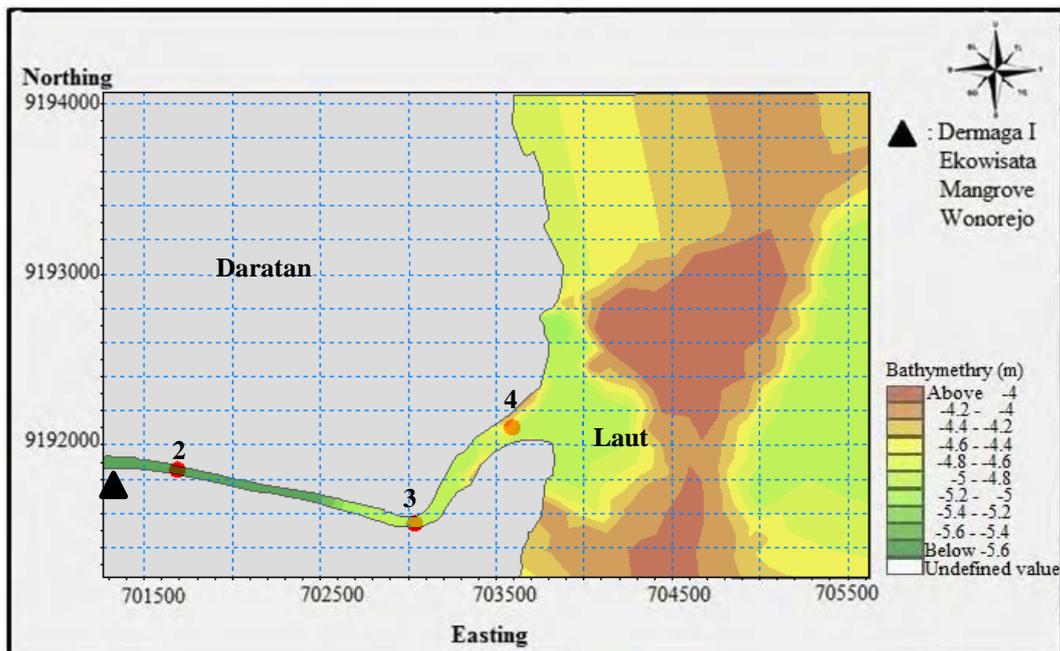
Tampilan kondisi batas pada pemodelan estuari Wonorejo dapat dilihat pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Kondisi Batas pada Pemodelan Estuari Wonorejo (Pemodelan dengan Mike 21, 2016)

4.3.3 Penentuan Sumber Pencemar

Berdasarkan sebaran sumber masuknya limbah kedalam kawasan pesisir dan laut, sumber pencemar dapat dibagi menjadi 2 jenis, yaitu *point sources*, dimana sumber pencemar dapat diketahui dengan jelas lokasinya, dan *non-point sources*, dimana sumber pencemar sulit dilacak sumbernya (Mukhtasor, 2007). Dalam pemodelan ini, sumber pencemar dapat diketahui dengan jelas berada di daerah sungai, tepatnya pada titik pengambilan sampel nomor 2, 3, dan 4. Sehingga dalam *setting* modul hidrodinamika, peneliti dapat mencentang *point sources* seperti pada Gambar 4.6

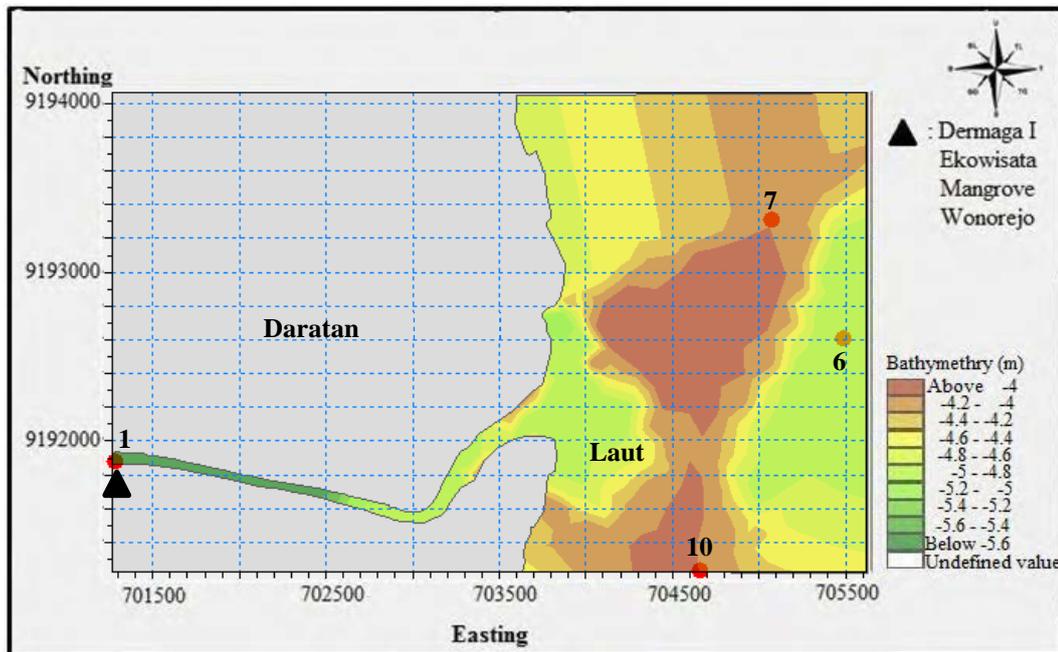


Gambar 4.6 Lokasi Sumber Pencemar (Pemodelan dengan Mike 21, 2016)

4.3.4 Validasi Model

Validasi dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui sejauh mana model mendekati kondisi yang sebenarnya. Perhitungan akurasi memakai hasil model pada *output point*. Hasil model kemudian dibandingkan dengan data yang dimiliki, baik dari data primer ataupun data sekunder. Gambar 4.7 memperlihatkan titik lokasi *output* yang dijadikan acuan dalam melakukan

validasi model. Terdapat empat lokasi *output* yang dijadikan acuan validasi, dimana empat lokasi tersebut sama dengan titik pengambilan sampel nomor 1, 6, 7, dan 10.



Gambar 4.7 Lokasi *Output Point* (Pemodelan dengan Mike 21, 2016)

Terdapat dua validasi yang dilakukan untuk pemodelan sebaran kualitas air ini karena pemodelan menggunakan dua modul MIKE 21, yaitu modul hidrodinamika dan modul ECO-Lab. Validasi model pada modul hidrodinamika menggunakan data pasang surut dan kecepatan arus. Sedangkan validasi model ECO-Lab menggunakan data primer kualitas air yang merupakan sampel air dari lapangan. Metode kalibrasi yang digunakan untuk modul hidrodinamika adalah *root mean square error* (RMSE) dan rata-rata persentase eror absolut. Sedangkan kalibrasi untuk modul ECO-Lab menggunakan persentase eror absolut saja karena pengambilan sampel hanya dilakukan sekali di satu titik. Persamaan RMSE adalah sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{l=1}^M e_l^2} \quad (4.1)$$

dimana, M adalah banyaknya data dan e_l berasal dari persamaan 4.2 berikut

$$e_l = Z_{n+l} - \hat{Z}_n(l), \quad (4.2)$$

dimana, Z_{n+l} adalah data pengukuran dan $\hat{Z}_n(l)$, merupakan data pemodelan. Sedangkan persentase kesalahan dari eror absolut menggunakan persamaan 4.3.

$$MAPE = \left(\frac{1}{M} \sum_{l=1}^M \left| \frac{e_l}{Z_{n+l}} \right| \right) 100\% \quad (4.3)$$

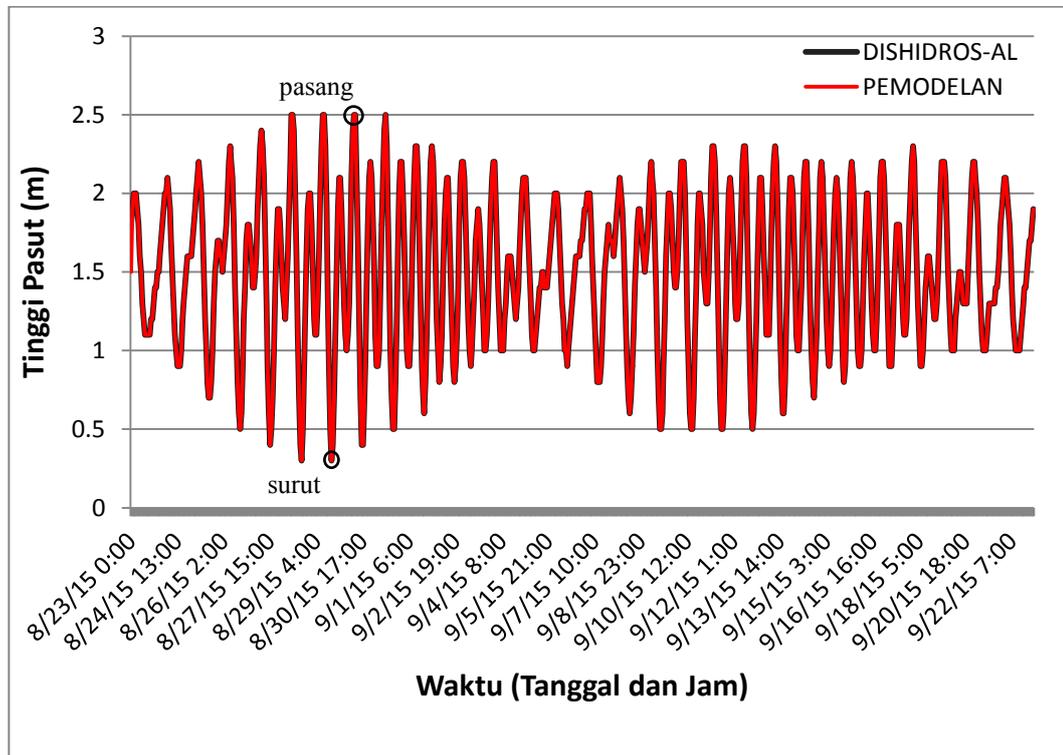
MAPE adalah singkatan dari *mean absolute percentage error* (Wei, 2006).

4.3.4.1 Validasi Model Hidrodinamika

Pengujian akurasi model hidrodinamika dilakukan kalibrasi dengan membandingkan data pasang surut dari DISHIDROS-AL dengan data yang diperoleh dari hasil pemodelan hidrodinamika menggunakan Mike 21. Perhitungan kalibrasi model diambil di *point* 6 karena letaknya yang terdekat dengan lokasi pasang surut DISHIDROS-AL. Hasil kalibrasi diperoleh nilai RMSE sebesar 0,01 dan persentase eror absolut 0,04%. Gambar 4.8 menunjukkan hasil validasi dengan membandingkan hasil model pada *point* 6 dengan data pasang surut yang diperoleh dari DISHIDROS-AL.

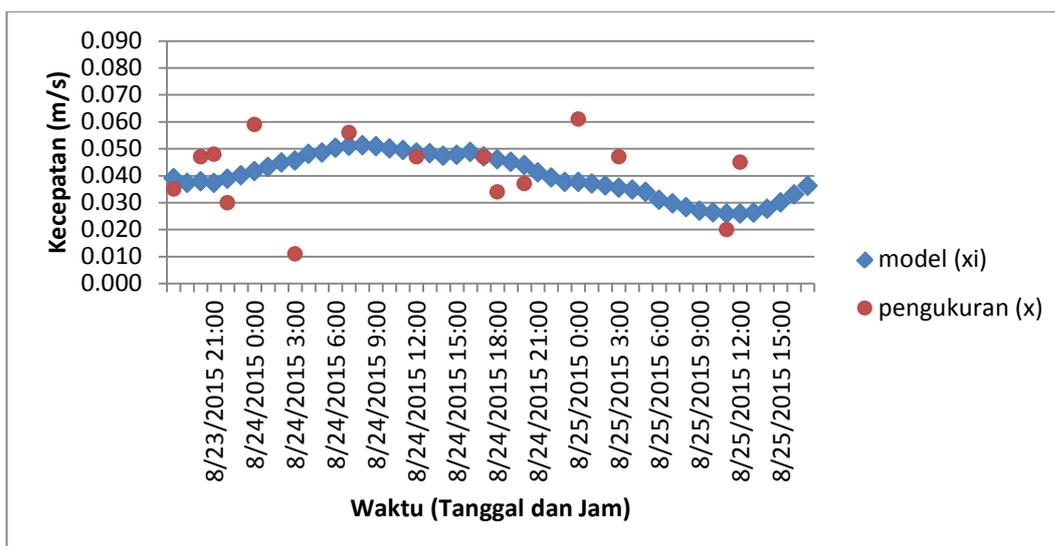
Berdasarkan nilai RMSE dan persentase eror absolut dapat diketahui bahwa model hidrodinamika untuk data pasang surut sudah sangat akurat. Gambar 4.8 juga menunjukkan selisih antara data pasang surut prediksi dari DISHIDROS-AL dengan data pasang surut hasil pemodelan sangat kecil. Pada Gambar tersebut, ditunjukkan pula letak pasang tertinggi dan surut terendah selama satu bulan yang digunakan sebagai acuan dalam pembahasan pemodelan. Pasang yang digunakan sebagai pasang tertinggi pada *time step* ke-203, yaitu pada tanggal 31 Agustus 2015, pukul 11.00. Sedangkan surut terendah pada *time step* ke-160, yaitu tanggal

29 Agustus 2015, pukul 16.00. Selain menggunakan data pasang surut, validasi juga dilakukan dengan menggunakan data kecepatan arus.



Gambar 4.8 Validasi Data Pasang Surut (Pengolahan Data Sekunder, 2016)

Data kecepatan arus diperoleh dari pengukuran lapangan dengan menggunakan ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) yang diletakkan dekat dengan point 6 dan diukur selama 49 jam sejak tanggal 23 Agustus 2015, pukul 19.00 WIB dan berakhir pada tanggal 25 Agustus 2015, pukul 18.00 WIB. Sehingga kalibrasi yang dilakukan adalah dengan membandingkan data kecepatan arus hasil pengukuran dengan data hasil model hidrodinamika pada point 6, mulai *time step* ke-19 hingga 66. Hasil dari kalibrasi diperoleh nilai RMSE sebesar 0,015, dengan persentase eror sebesar 27,02%. Sedangkan scatter data kecepatan arus hasil pengukuran di lapangan dengan hasil pemodelan disajikan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Validasi Kecepatan Arus dengan Data Pengukuran dan Pemodelan (Data diolah, 2016)

4.3.4.2 Validasi Model Kualitas Air

Pengujian akurasi model kualitas air dilakukan kalibrasi dengan konsentrasi parameter-parameter kualitas air yang telah diukur di lapangan. Berikut ini adalah hasil perhitungan kalibrasi model untuk setiap parameter kualitas air yang ditinjau.

Tabel 4.5 Hasil Kalibrasi Konsentrasi DO Menggunakan Sampel Air

Letak	Hasil Pengukuran (mg/L)	Hasil Pemodelan (mg/L)	Error (%)
Point 1	5,4	5,398	0,04
Point 6	5,4	5,444	0,82
Point 7	5,7	5,469	4,05
Point 10	5,6	5,59	0,02

Sumber: Pengolahan Data Primer, 2016

Hasil kalibrasi untuk parameter DO menunjukkan persentase eror terendah di *point* 10 yang berada di laut bagian selatan dengan besar eror 0,02%, sedangkan eror tertinggi di *point* 7 yang berada di laut bagian utara sebesar 4,05%.

Tabel 4.6 Hasil Kalibrasi Konsentrasi BOD Menggunakan Sampel Air

Letak	Hasil Pengukuran (mg/L)	Hasil Pemodelan (mg/L)	Error (%)
Point 1	5	5,123	2,47
Point 6	8	6,446	19,42
Point 7	5	6,463	29,26
Point 10	7	7,05	0,71

Sumber: Pengolahan Data Primer, 2016

Hasil kalibrasi untuk parameter BOD menunjukkan eror terendah di *point* 10 dengan besar eror 0,71%, sedangkan eror tertinggi di *point* 7 sebesar 29,26%.

Tabel 4.7 Hasil Kalibrasi Konsentrasi Fosfat Menggunakan Sampel Air

Letak	Hasil Pengukuran (mg/L)	Hasil Pemodelan (mg/L)	Error (%)
Point 1	0,054	0,0538	0,34
Point 6	0,028	0,0274	2,29
Point 7	0,025	0,0297	18,85
Point 10	0,011	0,011	0,33

Sumber: Pengolahan Data Primer, 2016

Hasil kalibrasi untuk parameter fosfat menunjukkan persentase eror pada semua titik *output* adalah dibawah 20%. Eror terendah di *point* 10 yang berada di laut bagian selatan dengan besar eror 0,33%, sedangkan eror tertinggi di *point* 7 yang berada di laut bagian utara sebesar 18,85%.

Tabel 4.8 Hasil Kalibrasi Konsentrasi Fenol Menggunakan Sampel Air

Letak	Hasil Pengukuran (mg/L)	Hasil Pemodelan (mg/L)	Error (%)
Point 1	0,021	0,021	0,92
Point 6	0,086	0,076	11,35
Point 7	0,065	0,053	18,75
Point 10	0,023	0,023	0,09

Sumber: Pengolahan Data Primer, 2016

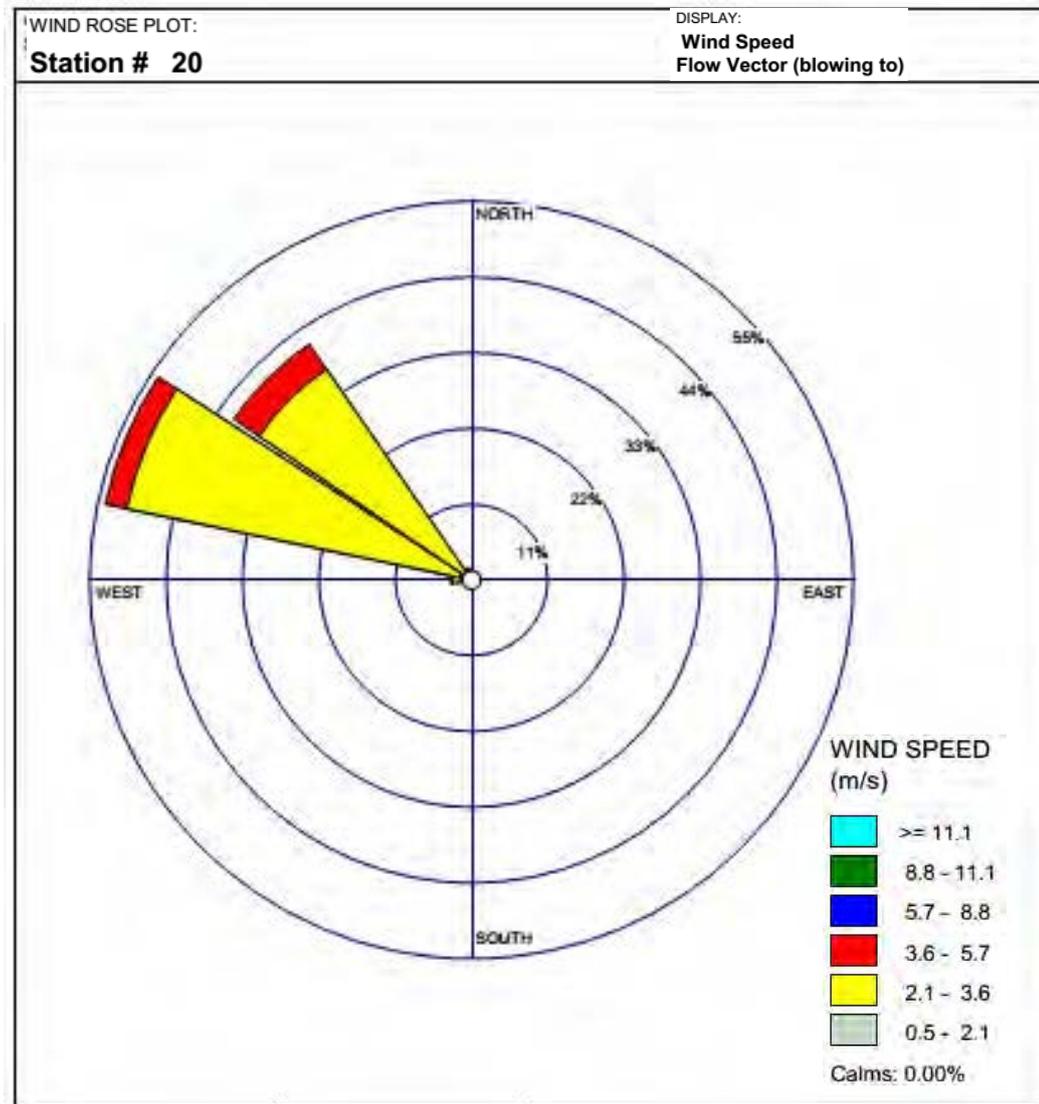
Hasil kalibrasi untuk parameter fenol menunjukkan persentase eror terendah di *point* 10 dengan besar eror 0,09%, sedangkan eror tertinggi di *point* 7 sebesar 18,75%.

4.3.5 Hasil dan Analisa Model Hidrodinamika

Simulasi hidrodinamika dilakukan untuk mengetahui perilaku hidrodinamika air terhadap berbagai macam fungsi gaya, misalnya variasi tinggi muka air laut, kondisi angin tertentu, aliran arus yang dibangkitkan oleh beberapa sumber, seperti pasang surut, angin, dan debit. Simulasi hidrodinamika pada model harus dilakukan untuk melihat perilaku hidrodinamika air terhadap berbagai macam fungsi gaya, misalnya kondisi angin tertentu dan muka air yang sudah ditentukan di *open model boundaries*. Sirkulasi hidrodinamika di perairan estuari Wonorejo ini diatur oleh bathimetri, *wind stress*, pasang surut, dan masuknya air tawar yang berasal dari sungai.

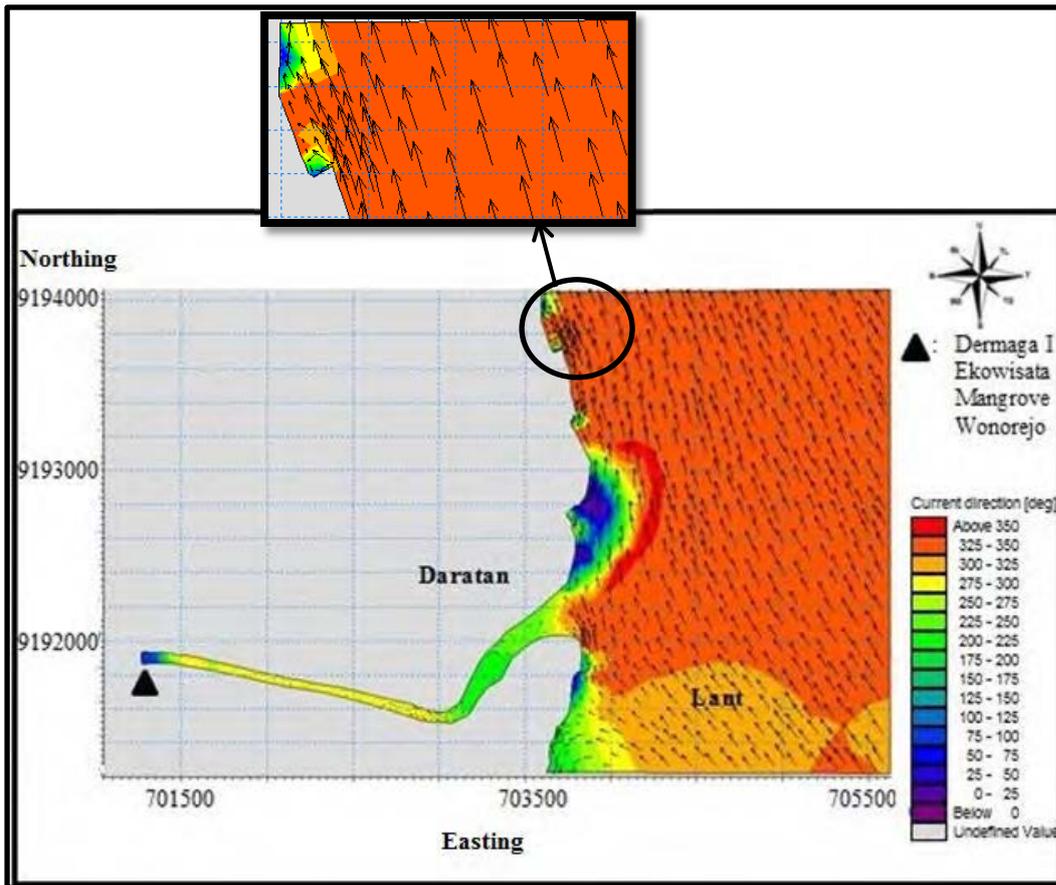
Untuk mengetahui perbedaan konsentrasi dan sebaran parameter-parameter kualitas air ketika pasang maupun surut maka perlu diketahui pola arus ketika pasang tertinggi dan surut terendah. Kondisi tersebut dapat memberikan gambaran yang lebih jelas dari perbedaan-perbedaan tersebut dibandingkan ketika kondisi pasang dan surut biasa. Tidak hanya itu, kondisi ketika menuju pasang dan menuju surut juga diperlukan, seperti yang telah disebutkan oleh Fajar, dkk. (2014), dijelaskan bahwa hasil simulasi model untuk potensi arus laut yang telah

mereka lakukan menunjukkan adanya nilai potensi rapat daya terbesar justru ketika kondisi arus menuju pasang maupun surut.



Gambar 4.10 *Wind Rose* Hasil Peramalan Angin BMKG untuk Area Wonorejo (Pengolahan Data Sekunder, 2016)

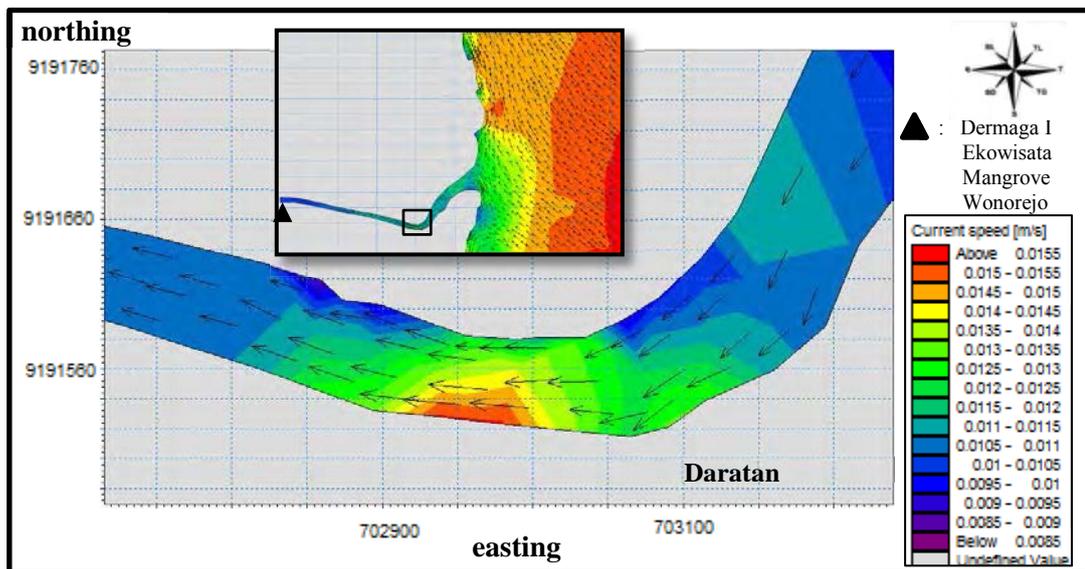
Berdasarkan *wind rose* pada Gambar 4.10, angin yang menggerakkan arus umumnya bergerak ke arah barat laut. Begitu pula pada hasil pemodelan hidrodinamika untuk estuari Wonorejo ini. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.11, vektor pada perairan estuari Wonorejo umumnya bergerak ke arah barat laut.



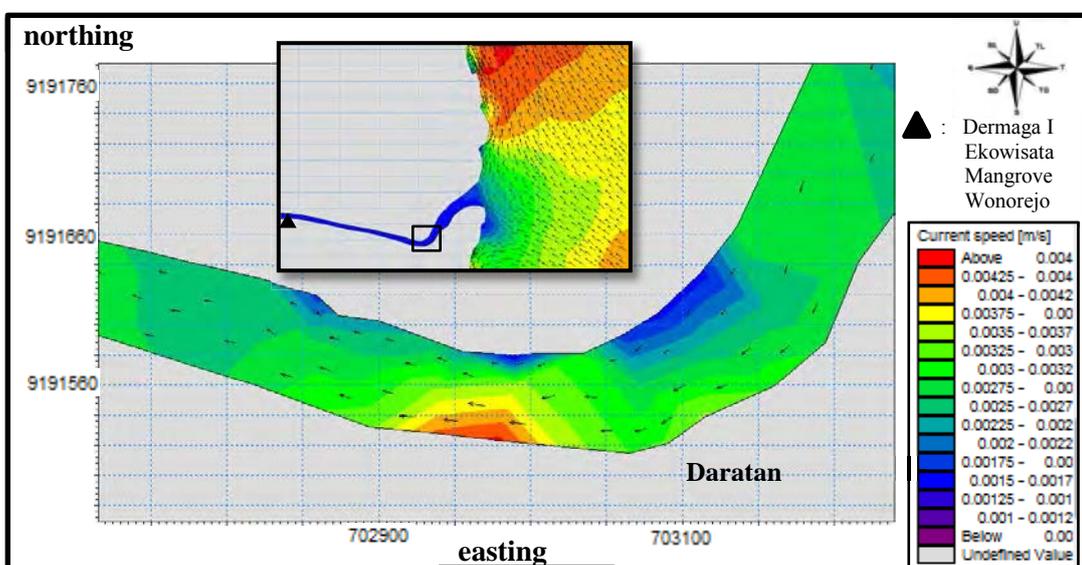
Gambar 4.11 Arah Arus pada Model Hidrodinamika Estuari Wonorejo (Pemodelan dengan Mike 21, 2016)

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.12 yang menunjukkan pasang surut di estuari Wonorejo, saat menuju pasang, yaitu pada *time step* ke 201 (31 Agustus 2015 pukul 09.00), tinggi muka air mencapai 2,1 m dengan besar kecepatan arus mencapai 0,044 m/s di laut, 0,02 m/s di muara, dan 0,012 m/s di sungai. Sedangkan pada saat pasang tertinggi, muka air mencapai 2,53 m dengan kecepatan arus 0,045 m/s di laut, 0,017 di muara, dan 0,003 m/s di sungai, yang terjadi pada *time step* ke 203 (31 Agustus 2015 pukul 11.00) pada pemodelan. Saat menuju surut, yaitu pada *time step* ke 158 (29 Agustus 2015 pukul 14.00), tinggi muka air mencapai 0,91 m dengan kecepatan arus 0,063 m/s di laut, 0,027 m/s di muara, dan 0,03 m/s di sungai. Sementara saat surut terendah, tinggi muka air adalah 0,32 m dengan kecepatan arus 0,051 m/s di laut, 0,02 m/s di muara, dan 0,017 m/s di sungai, yang terjadi pada *time step* ke 160 (29 Agustus 2015 pukul

16.00) dari pemodelan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa hasil simulasi yang telah dilakukan dalam penelitian Fajar, dkk. (2014) juga terjadi pada pemodelan ini. Kecepatan arus pada saat menuju pasang lebih besar daripada pada saat pasang tertinggi. Begitu pula dengan kondisi kecepatan arus saat menuju surut lebih besar dibandingkan pada saat surut terendah.

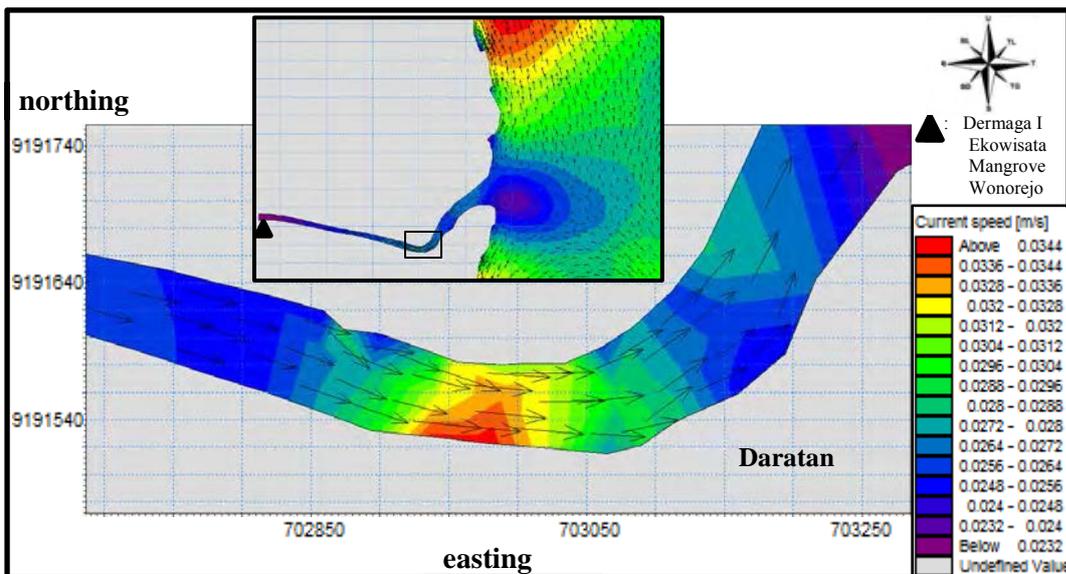


Gambar 4.12 Pola Arus Estuari Wonorejo saat Menuju Pasang (Pemodelan dengan Mike 21, 2016)

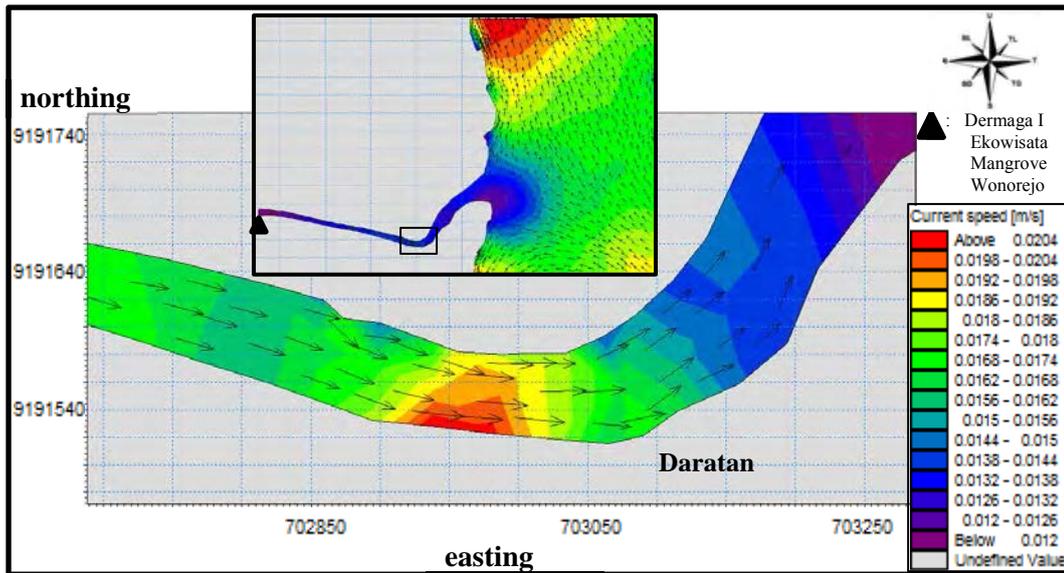


Gambar 4.13 Pola Arus Estuari Wonorejo saat Pasang Tertinggi (Pemodelan dengan Mike 21, 2016)

Pola arus pada estuari Wonorejo saat kondisi menuju pasang dan pasang tertinggi berturut-turut disajikan pada Gambar 4.12 dan 4.13. Sedangkan saat kondisi menuju surut dan surut terendah berturut-turut disajikan pada Gambar 4.14 dan 4.15. Saat menuju pasang dan pasang tertinggi, pola arus terlihat mengarah ke sungai. Sebaliknya, ketika surut terendah, pola arus bergerak kembali ke arah laut. Dari hasil simulasi hidrodinamika ini, terlihat bahwa pola arus di perairan estuari Wonorejo bergerak bolak balik mengikuti pola pasang surut di perairan tersebut.



Gambar 4.14 Pola Arus Estuari Wonorejo saat Menuju Surut (Pemodelan dengan Mike 21, 2016)



Gambar 4.15 Pola Arus Estuari Wonorejo saat Surut Terendah (Pemodelan dengan Mike 21, 2016)

4.3.6 Hasil dan Analisa Model Kualitas Air

ECO Lab mensimulasikan persebaran kualitas air secara adveksi serta mensimulasikan proses baik fisika, kimia, maupun biologi dari parameter-parameter kualitas air yang terjadi di dalam perairan. Sehingga dengan simulasi model menggunakan ECO Lab dapat diketahui sebaran parameter-parameter kualitas air. Pada penelitian ini, terdapat empat parameter kualitas air yang diukur, yaitu DO (*Dissolved Oxygen* / oksigen terlarut), BOD (*Biological Oxygen Demand*), fosfat, dan fenol.

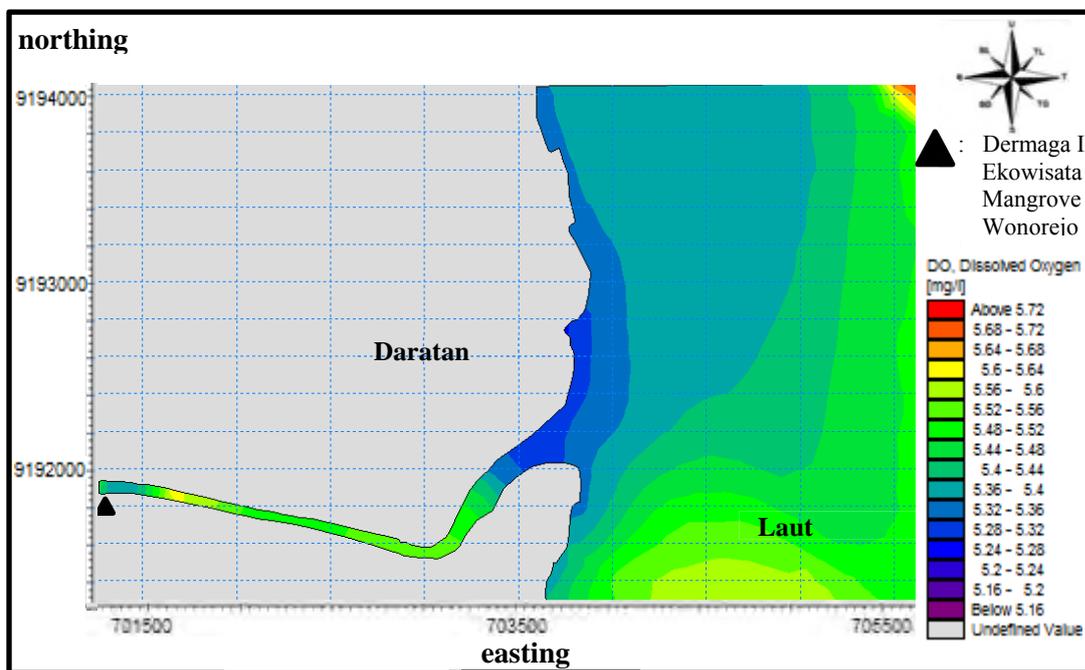
Pengukuran DO dilakukan untuk mengetahui konsentrasi DO di perairan estuari Wonorejo dan sebarannya karena DO merupakan parameter kualitas air yang sangat penting bagi kehidupan biota laut penyusun ekosistem estuari. Pengukuran BOD dilakukan untuk mengetahui adakah pengaruh BOD terhadap DO dan untuk mengetahui kondisi perairan estuari Wonorejo berdasarkan banyak tidaknya pembusukan bahan organik yang dilakukan oleh decomposer dalam perairan. Pengukuran fosfat dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh limbah yang dibuang tambak tradisional terhadap kondisi perairan estuari Wonorejo. Sedangkan pengukuran fenol dilakukan untuk mengetahui apakah asumsi masyarakat tentang adanya kontaminasi limbah lumpur lapindo adalah

benar dan untuk mengetahui pengaruh keberadaan fenol dalam perairan terhadap biota laut yang hidup di perairan estuari Wonorejo tersebut. Fenol sendiri merupakan polutan yang berasal dari tumpahan minyak.

Hasil *output* yang diambil sama dengan *output* pada hidrodinamika, yaitu sebaran keempat parameter kualitas air saat pasang tertinggi dan surut terendah, serta pergerakannya selama 30 hari dengan 720 *time step*.

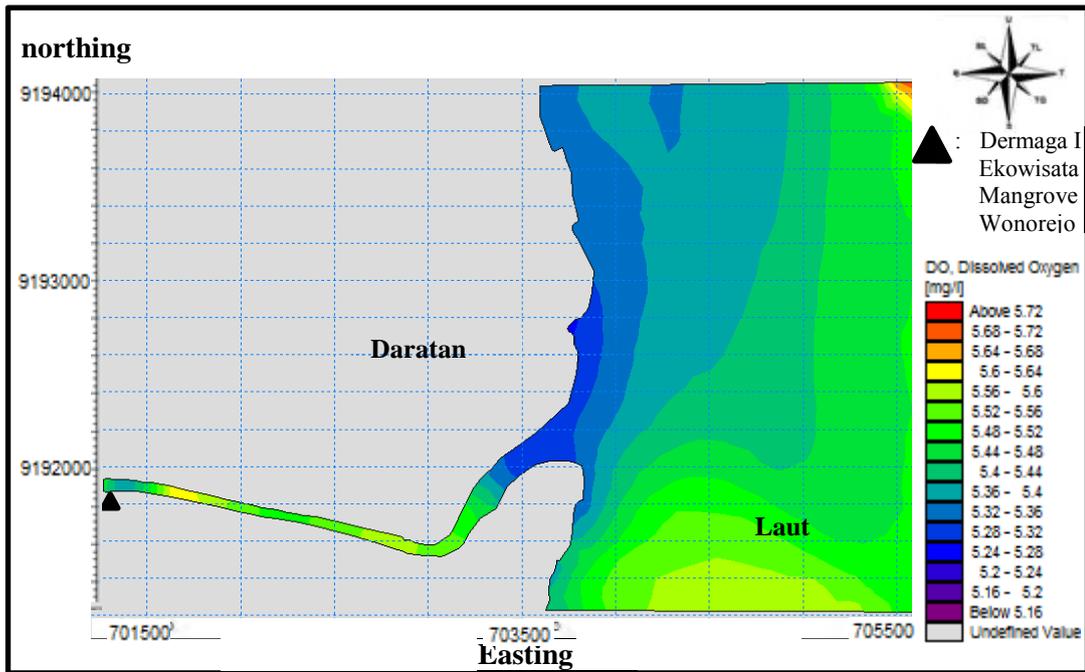
4.3.6.1 Hasil dan Analisa Sebaran DO

Berikut disajikan hasil simulasi DO pada saat menuju pasang dan pasang tertinggi maupun saat menuju surut dan surut terendah.



Gambar 4.16 Sebaran DO saat Menuju Pasang (Pemodelan dengan Mike 21, 2016)

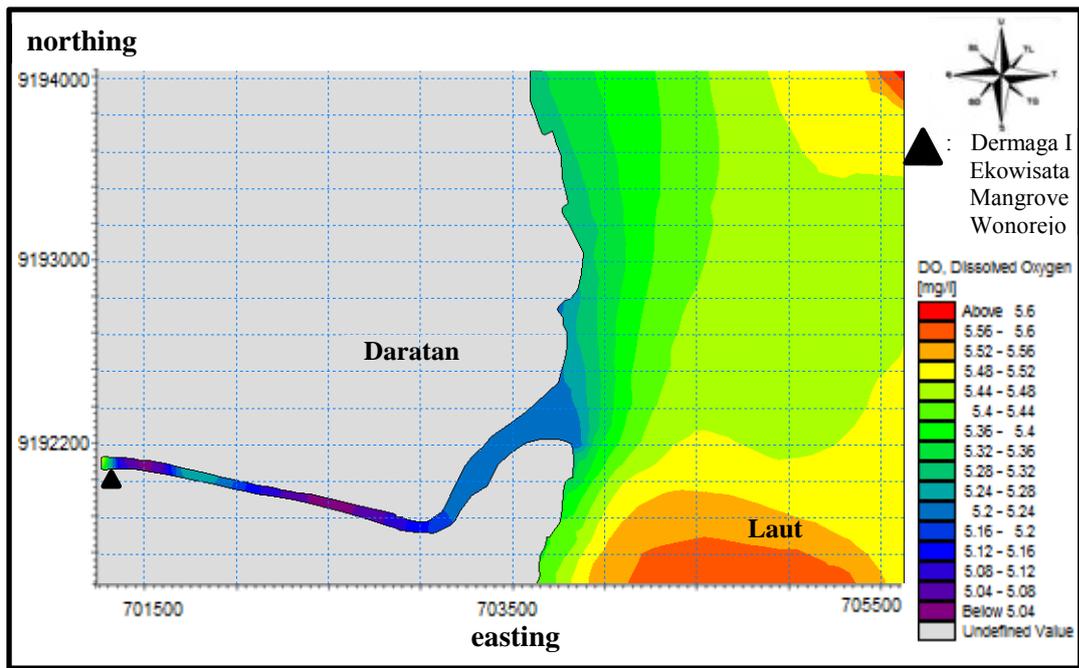
Gambar 4.16 menunjukkan sebaran DO saat kondisi menuju pasang dengan konsentrasi terendah di pesisir dekat muara sebesar 5,27 mg/L. Konsentrasi tertinggi berada di laut bagian utara dengan besar 5,7 mg/L.



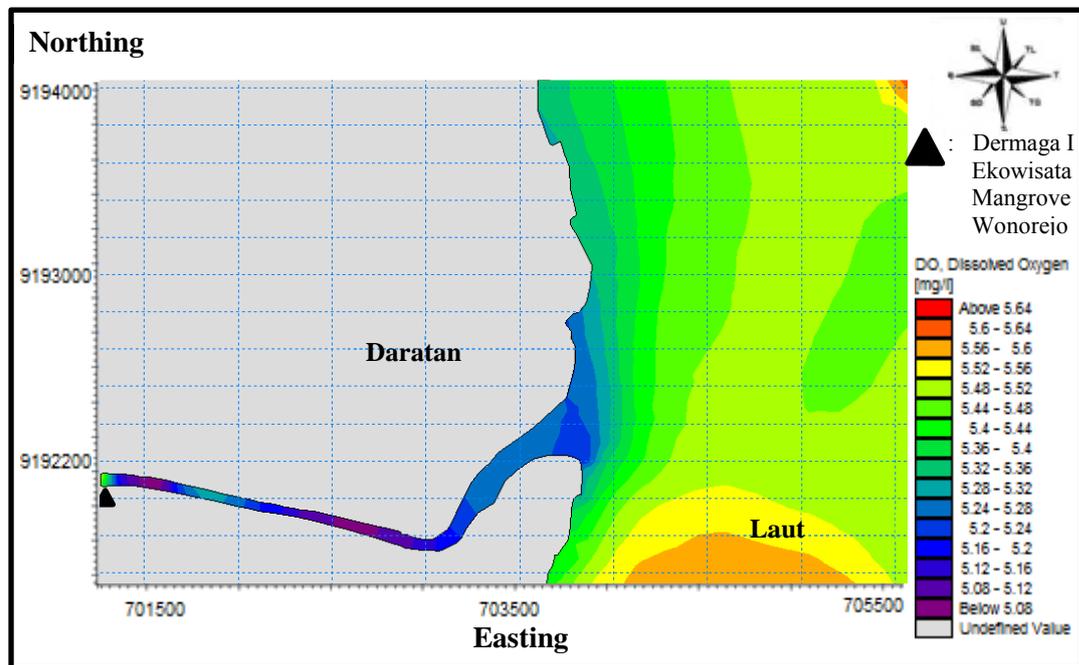
Gambar 4.17 Sebaran DO saat Pasang Tertinggi (Pemodelan dengan Mike 21, 2016)

Gambar 4.17 menunjukkan sebaran DO saat pasang tertinggi dengan konsentrasi terendah di pesisir dekat muara sebesar 5,26 mg/L. Konsentrasi tertinggi berada di laut dengan besar 5,72 mg/L. Gambar 4.16 dan Gambar 4.17 menjelaskan bahwa konsentrasi DO pada saat pasang tertinggi lebih besar dibandingkan pada saat menuju pasang. Hal ini dikarenakan kecepatan arus yang lebih besar pada saat menuju pasang menyebabkan sebaran DO tersebar lebih merata dan tidak menjadi cukup tinggi di suatu tempat, sehingga konsentrasinya menjadi lebih rendah.

Gambar 4.18 menunjukkan sebaran DO saat kondisi menuju surut. Konsentrasi terendah di sungai sebesar 5,027 mg/L. Konsentrasi tertinggi di laut bagian utara dengan besar 5,623 mg/L. Sedangkan Gambar 4.19 menunjukkan sebaran DO saat surut terendah. Konsentrasi terendah di sungai sebesar 5,061 mg/L. Konsentrasi tertinggi di laut mencapai 5,65 mg/L. Seperti halnya kondisi menuju pasang dan pasang tertinggi, kondisi menuju surut dan surut terendah juga mengalami sebaran DO yang serupa. Ketika menuju surut dengan kecepatan arus yang lebih besar menyebabkan sebaran DO lebih merata sehingga konsentrasi DO tidak lebih besar daripada ketika surut terendah.



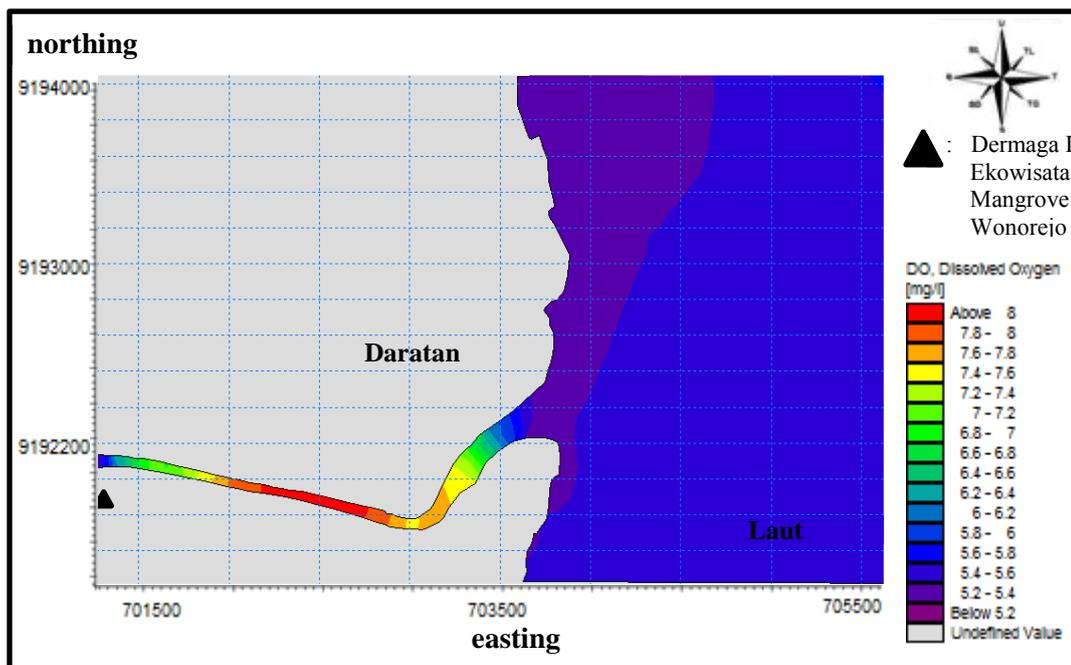
Gambar 4.18 Sebaran DO saat Menuju Surut (Pemodelan dengan Mike 21, 2016)



Gambar 4.19 Sebaran DO saat Surut Terendah (Pemodelan dengan Mike 21, 2016)

Berdasarkan hasil simulasi sebaran DO yang ditunjukkan oleh Gambar 4.16 hingga Gambar 4.19, terdapat perbedaan konsentrasi DO ketika pasang dan

ketika surut, yaitu konsentrasi DO ketika pasang menjadi lebih tinggi dibandingkan ketika surut. Fenomena ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Pawar (2013), yang menunjukkan konsentrasi DO pada saat surut adalah 4,71 mg/L dan pada saat pasang meningkat menjadi 5,84 mg/L. Menurut Pawar dan Kulkarni (2007) dalam Pawar (2013), meningkatnya konsentrasi DO ketika pasang dikarenakan pengaruh pasang surut dan adanya pencampuran level oksigen yang lebih tinggi pada daerah pantai. Keadaan pasang juga menyebabkan turunnya temperatur, sehingga daya larut oksigen menjadi semakin tinggi.

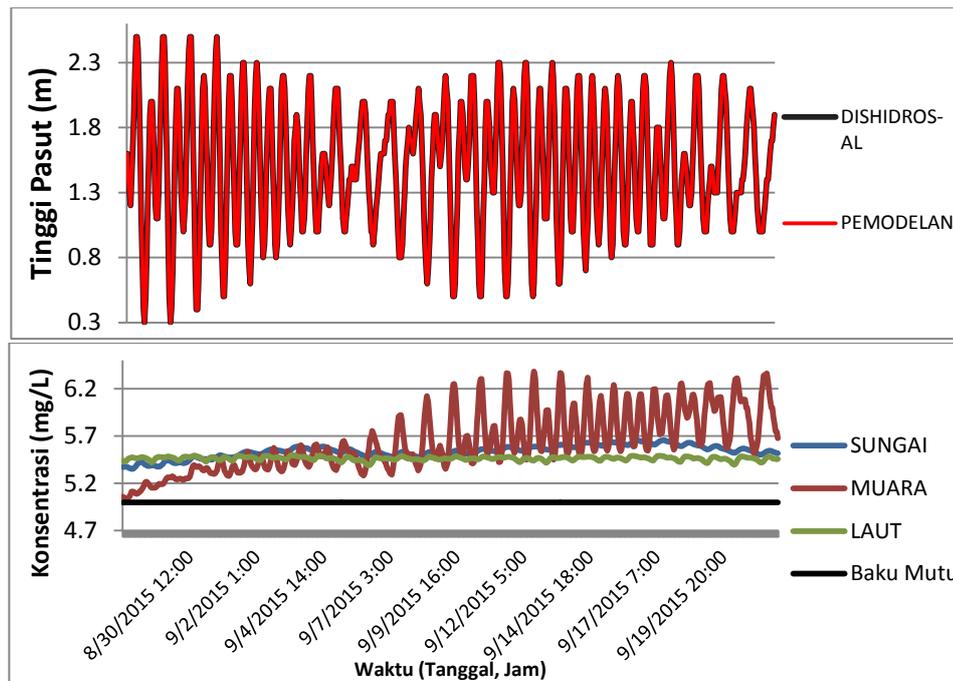


Gambar 4.20 Sebaran DO Setelah Satu Bulan (Pemodelan dengan Mike 21, 2016)

Pemodelan dilakukan dengan *time step* sebanyak 720 dengan interval 1 jam, dimulai sejak tanggal 23 Agustus 2015 hingga tanggal 21 September 2015. Banyaknya *time step* tersebut menjelaskan bahwa pemodelan dilakukan untuk prediksi sebaran kualitas air selama satu bulan, dengan *time step* awal adalah *time step* ke-0 dan *time step* terakhir adalah *time step* ke-719. Gambar 4.16 menunjukkan sebaran DO pada *time step* terakhir.

Setelah satu bulan, sebaran DO menunjukkan bahwa area di sepanjang sungai yang menuju muara memiliki konsentrasi yang paling tinggi dibandingkan area sungai yang lebih di dalam maupun laut. Namun secara keseluruhan, dibandingkan dengan waktu-waktu sebelumnya, setelah satu bulan konsentrasi DO terjadi penurunan. Rata-rata konsentrasi DO pada *time step* ke-1 adalah 5,581 mg/L, namun menjadi turun hingga 5,536 mg/L pada *time step* ke-719 atau setelah satu bulan (Lampiran 4.A). Fenomena tersebut menjelaskan bahwa dari waktu ke waktu konsentrasi DO di wilayah estuari Wonorejo mengalami penurunan.

Menurut Setiaji (1995) *dalam* Anonim (2011), daya larut oksigen di air laut lebih rendah dibandingkan dengan air tawar. Pernyataan tersebut menjelaskan kondisi serupa yang terjadi pada perairan estuari Wonorejo, dimana kondisi DO di laut lebih rendah daripada muara maupun sungai yang memiliki salinitas yang lebih kecil karena merupakan pencampuran antara air tawar dari sungai dan air asin dari laut. Untuk memperjelas perbedaan konsentrasi DO di sungai, muara, dan laut, maka perbedaan konsentrasi DO di ketiga tempat tersebut serta perbandingannya dengan pasang surut pada waktu yang sama dapat dilihat grafik yang disajikan pada Gambar 4.21.

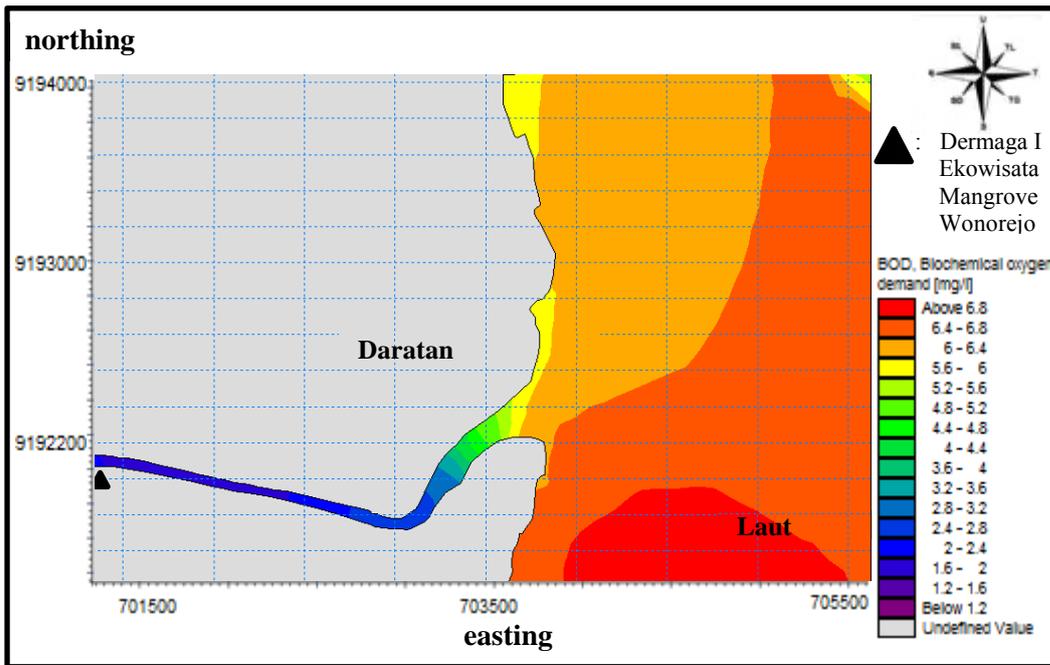


Gambar 4.21 Perbandingan Sebaran DO di Sungai, Muara, dan Laut dengan Pasang Surut (Pengolahan Data Hasil Pemodelan, 2016)

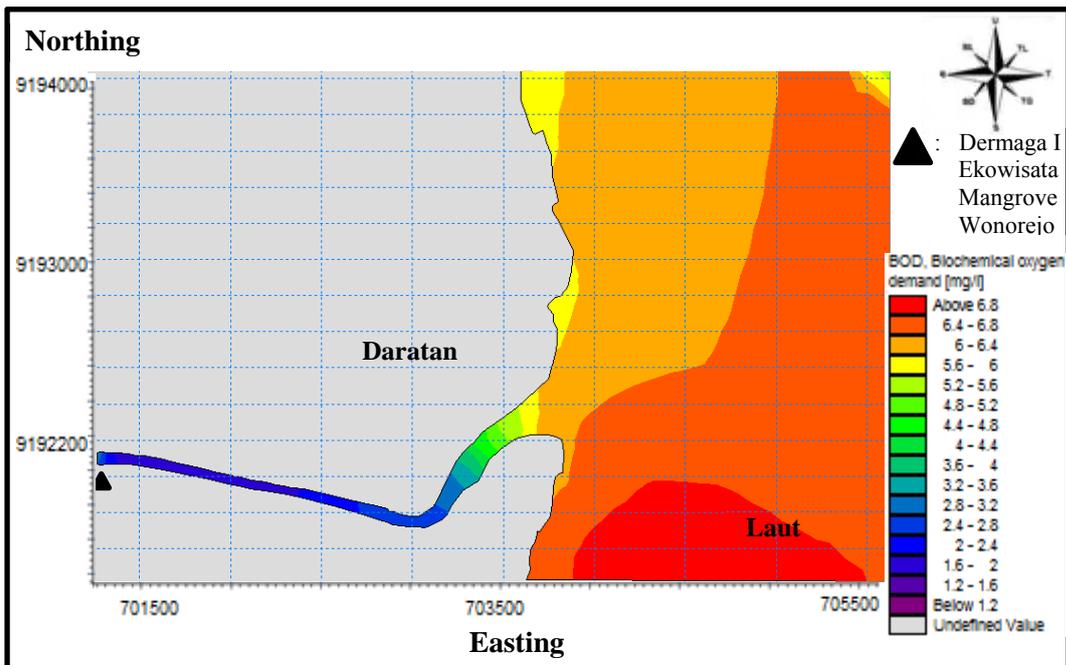
Grafik pada Gambar 4.21 menunjukkan adanya perbedaan konsentrasi DO di sungai, muara, dan laut perairan estuari Wonorejo. Pada grafik tersebut terlihat bahwa konsentrasi DO di sungai lebih rendah dari waktu ke waktu dibandingkan dengan konsentrasi DO di muara dan laut, namun pada waktu terakhir menjadi lebih tinggi daripada konsentrasi DO di laut. Konsentrasi DO di laut lebih rendah jika dibandingkan konsentrasi DO di muara sungai dan sungai, namun perbedaan konsentrasi DO antara di laut dan di sungai tidak terlalu signifikan, dan cenderung memiliki perbedaan yang cukup signifikan dengan konsentrasi DO di muara. Konsentrasi DO di muara sungai awalnya adalah yang terendah hingga *time step* ke-140, kemudian bergerak naik secara signifikan setelah itu, hingga kemudian memiliki konsentrasi yang paling tinggi dibandingkan dua tempat lainnya hingga *time step* terakhir.

4.3.6.2 Hasil dan Analisa Sebaran BOD

Berikut disajikan hasil simulasi BOD pada saat menuju pasang dan pasang tertinggi maupun saat menuju surut dan surut terendah.



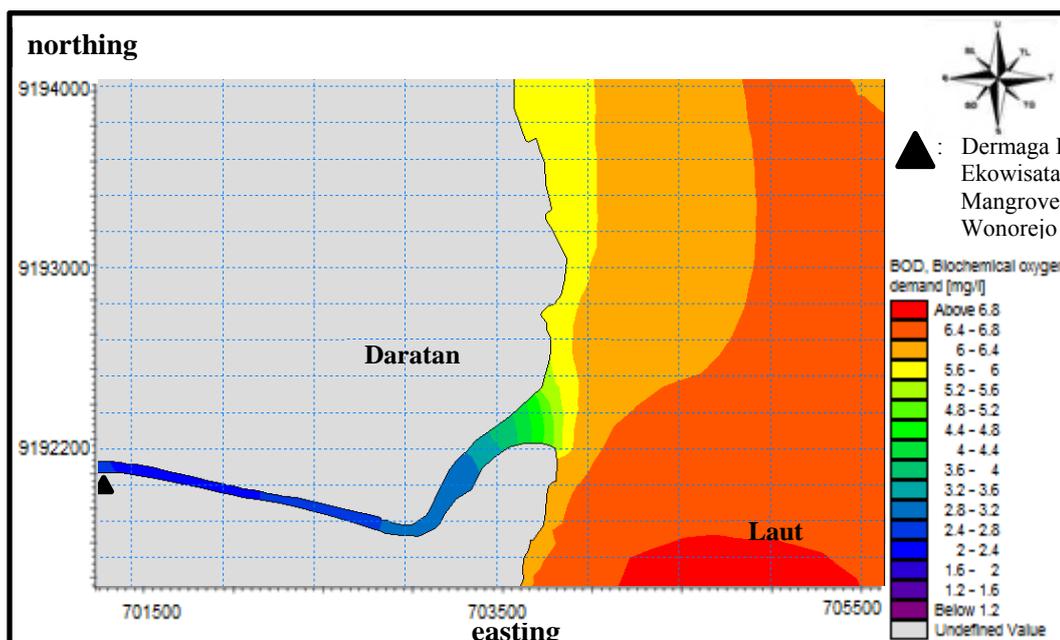
Gambar 4.22 Sebaran BOD saat Menuju Pasang (Pemodelan dengan Mike 21, 2016)



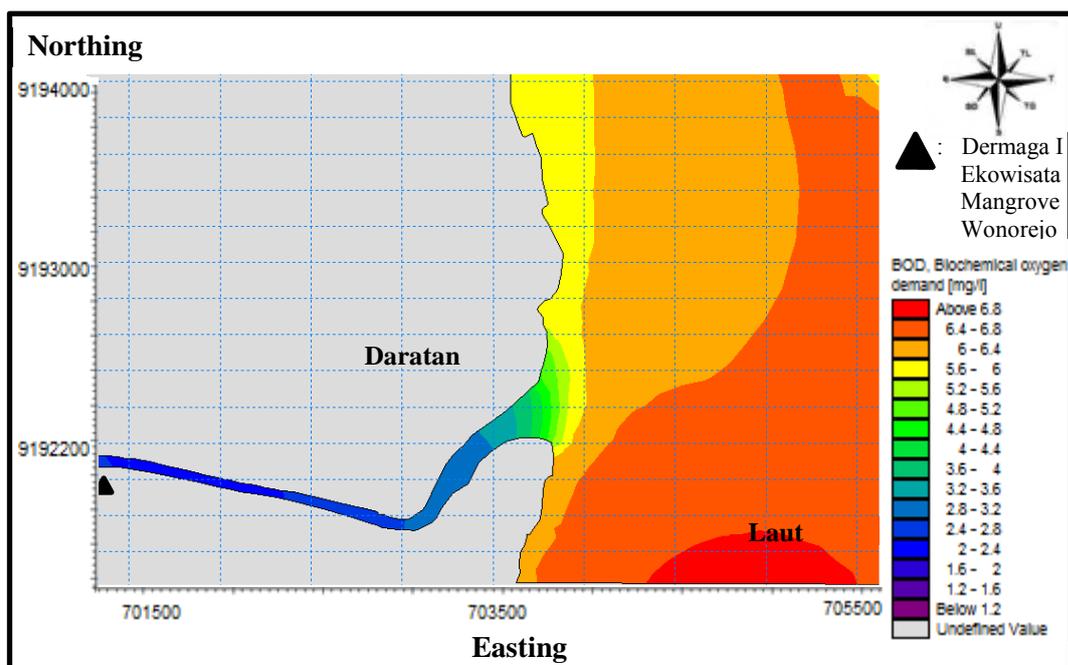
Gambar 4.23 Sebaran BOD saat Pasang Tertinggi (Pemodelan dengan Mike 21, 2016)

Gambar 4.22 menunjukkan sebaran BOD saat kondisi menuju pasang dengan konsentrasi terendah di sungai sebesar 1,7 mg/L. Konsentrasi tertinggi di laut sebesar 7 mg/L. Untuk konsentrasi BOD di muara berkisar 3,2 – 6,4 mg/L. Gambar 4.23 menunjukkan sebaran BOD saat pasang tertinggi dengan konsentrasi terendah di sungai sebesar 1,7 mg/L. Konsentrasi tertinggi berada di laut dengan besar 7 mg/L. Untuk konsentrasi BOD di muara berkisar 3,6 – 6,5 mg/L. Gambar 4.22 dan Gambar 4.23 menjelaskan bahwa konsentrasi BOD pada saat kondisi menuju pasang lebih kecil daripada saat pasang tertinggi, namun perbedaan tersebut tidak terlalu signifikan. Begitu pula dengan sebarannya yang cenderung sama.

Gambar 4.24 menunjukkan sebaran BOD saat kondisi menuju surut dengan konsentrasi terendah di sungai sebesar 2,2 mg/L. Konsentrasi tertinggi di laut sebesar 6,9 mg/L. Sedangkan konsentrasi BOD di muara berkisar 3,5 – 6,4 mg/L. Gambar 4.25 menunjukkan sebaran BOD saat surut terendah dengan konsentrasi terendah di sungai sebesar 2,2 mg/L. Konsentrasi tertinggi di laut sebesar 6,9 mg/L. Sedangkan konsentrasi di muara berkisar 3,2 – 6,3 mg/L.



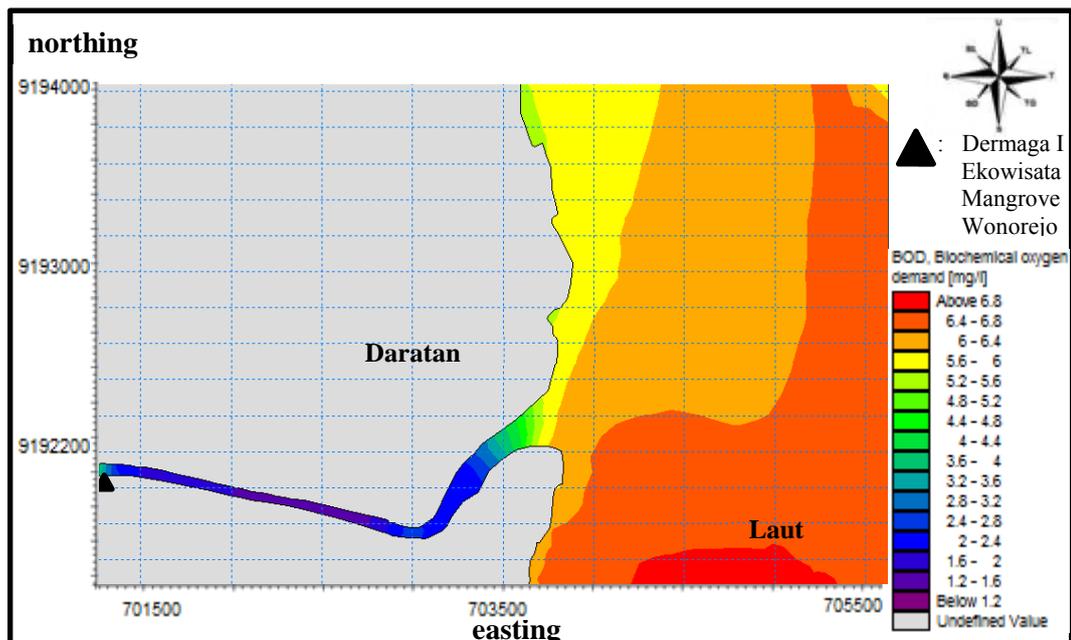
Gambar 4.24 Sebaran BOD saat Menuju Surut (Pemodelan dengan Mike 21, 2016)



Gambar 4.25 Sebaran BOD saat Surut Terendah (Pemodelan dengan Mike 21, 2016)

Berdasarkan hasil simulasi sebaran BOD yang ditunjukkan oleh Gambar 4.22 hingga Gambar 4.25, terdapat perbedaan konsentrasi BOD ketika pasang dan ketika surut meskipun tidak terlalu signifikan. Konsentrasi BOD di sungai pada saat surut lebih tinggi daripada pada saat pasang, dengan perbedaan yang cukup jauh. Fenomena ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Pawar (2013), konsentrasi BOD pada saat surut adalah 1,83 mg/L dan justru menurun pada saat pasang menjadi 1,71 mg/L. Menurut Pawar dan Kulkarni (2007) dalam Pawar (2013), penurunan BOD ketika pasang dikarenakan aktivitas mikroba dalam mengurai material organik menjadi turun, dan meningkat ketika surut dikarenakan sebaran limbah yang pasif dan tidak lebih merata dibandingkan ketika kondisi pasang. Namun di laut, fenomena tersebut tidak terjadi dengan konsentrasi BOD yang cenderung sama. Hal ini dikarenakan dampak pasang surut lebih besar di daerah sungai dan muara daripada di daerah laut.

Konsentrasi parameter-parameter kualitas air selalu berubah tiap waktunya di setiap tempat, termasuk konsentrasi BOD. Gambar 4.26 berikut menunjukkan sebaran BOD pada *time step* terakhir.



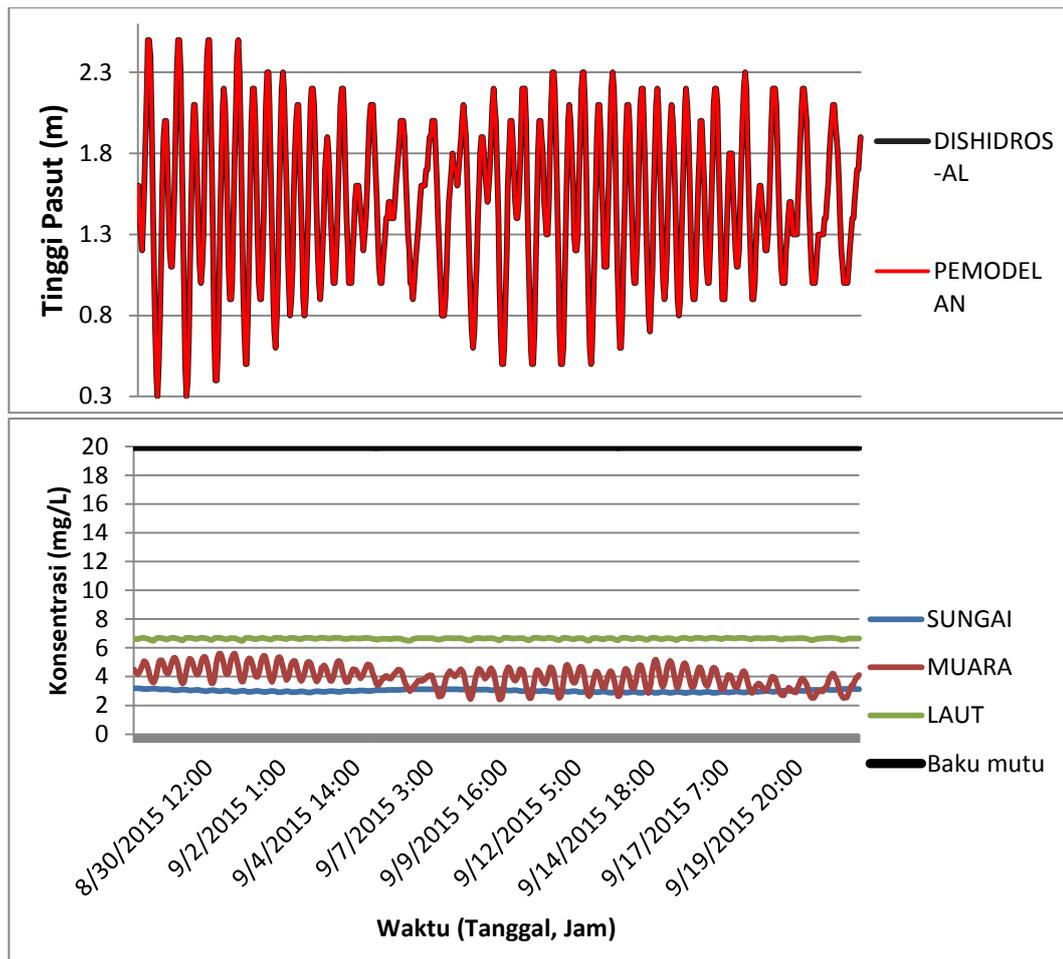
Gambar 4.26 Sebaran BOD Setelah Satu Bulan (Pemodelan dengan Mike 21, 2016)

Setelah satu bulan, sebaran BOD menunjukkan adanya perubahan konsentrasi dibandingkan dengan *time step* sebelumnya, yaitu pada saat pasang tertinggi maupun surut terendah. Namun, perbedaan tersebut tidak terlalu signifikan. Fenomena ini serupa dengan eksperimen yang dilakukan oleh Laboratorium Penelitian Polusi Air Stevenage, Departemen Lingkungan, Inggris (1973). Eksperimen dilakukan dengan membuat 56 sampel yang berisi berbagai macam populasi bakteri pada limbah cair dengan pemberian aerasi untuk meningkatkan DO selama periode 0 hingga 29 jam. Hasil yang diperoleh pada eksperimen tersebut adalah jumlah bakteri berubah secara signifikan dari waktu ke waktu, perubahan BOD tetap ada namun tidak signifikan. Sehingga, dapat dikatakan bahwa perubahan BOD selalu terjadi sepanjang waktu namun tidak signifikan. Pada umumnya konsentrasi BOD estuari Wonorejo, di area laut lebih tinggi daripada di area lain. Hal ini dikarenakan adanya kontaminasi limbah yang berasal dari sungai tetangganya, yaitu sungai Aveur. Sungai Aveur terletak di selatan lokasi penelitian. Inilah yang menyebabkan konsentrasi BOD di area laut bagian selatan dari lokasi penelitian menjadi lebih pekat dibandingkan bagian lainnya. Hal ini diperkuat pula dengan hasil pengambilan sampel air di sungai

Aveur pada musim berikutnya yaitu musim penghujan pada tanggal 9 Mei 2016 menunjukkan besar konsentrasi BOD di sungai tersebut sebesar 15 mg/L. *Flushing time* pada musim penghujan lebih besar dibandingkan musim kemarau. Sehingga pada musim kemarau tepat saat waktu penelitian tersebut, konsentrasi BOD di sungai Aveur dapat menjadi lebih pekat dan lebih mengkontaminasi perairan estuari Wonorejo. Arah angin dominan pada saat penelitian menuju ke arah barat laut, menunjukkan bahwa pergerakan arus di perairan sungai Aveur dapat bergerak menuju perairan estuari Wonorejo, hingga akhirnya mengkontaminasi estuari tersebut.

Meskipun konsentrasi DO mengalami penurunan, ternyata konsentrasi BOD juga mengalami penurunan. Umumnya, BOD dan DO memiliki hubungan berbanding terbalik, namun terdapat pula beberapa keterbatasan yang mempengaruhi hasil BOD. Kehadiran bahan beracun, konsentrasi dari mikroorganisme, adanya zat hara anorganik, dan beberapa factor lain yang dapat mempengaruhi reaksinya (Standard Methods, 1970 *dalam* Nemerow, 1974; Mukhtasor, 2007)

Gambar 4.20 dan Gambar 4.26 menunjukkan secara jelas adanya perbedaan konsentrasi antara DO dan BOD. Hal ini juga terlihat pada saat pasang dan surut dari kedua parameter tersebut. Ketika pasang konsentrasi DO cenderung menjadi lebih tinggi, namun konsentrasi BOD justru menjadi lebih rendah dibandingkan ketika surut. Menurut Mukhtasor (2007), BOD merupakan jumlah oksigen dalam sistem perairan yang dibutuhkan oleh bakteri aerobik untuk menguraikan bahan organik dalam air melalui proses oksidasi biokimiawi. Sehingga semakin tinggi BOD, makin banyak jumlah oksigen yang digunakan oleh bakteri aerobik, inilah yang mengakibatkan DO justru semakin menurun.



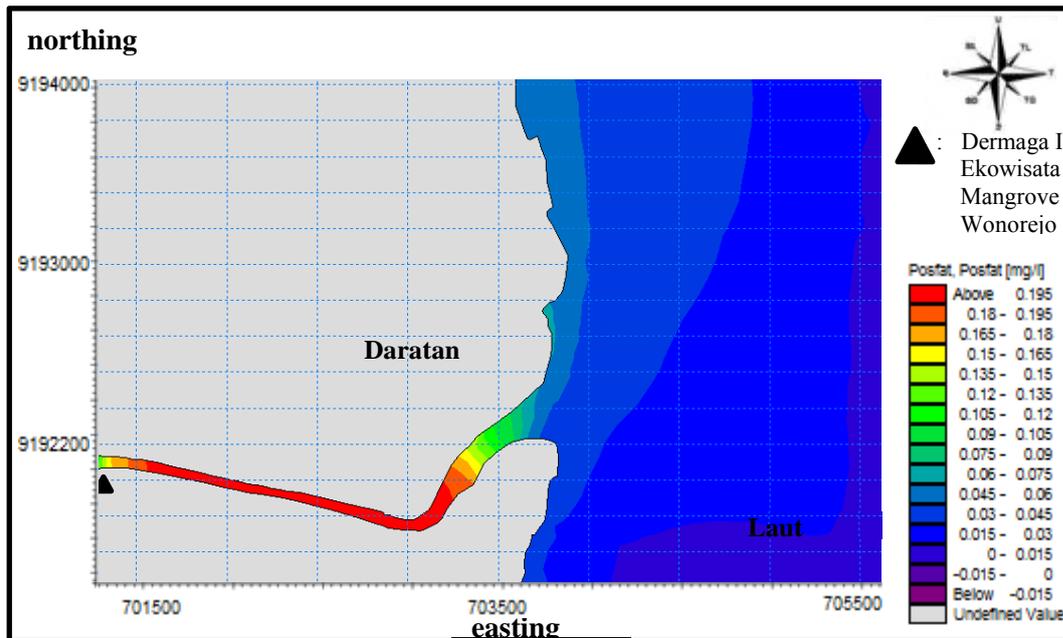
Gambar 4.27 Perbandingan Sebaran BOD di Sungai, Muara, dan Laut dengan Pasang Surut (Pengolahan Data Hasil Pemodelan, 2016)

Pada sebaran DO konsentrasi terbesar adalah di muara, namun untuk sebaran BOD, seperti pada Gambar 4.27, konsentrasi di muara justru lebih rendah. Pada sebaran DO, konsentrasi DO di muara terus meningkat setiap harinya. Tetapi sebaliknya, pada sebaran BOD di muara, konsentrasinya semakin menurun. Hal ini menjelaskan adanya hubungan BOD dan DO yang berbanding terbalik. Pada sebaran BOD, konsentrasi tertinggi ada di laut yang menjelaskan aktivitas mikroba di laut jauh lebih besar dibandingkan aktivitas mikroba di tempat lainnya.

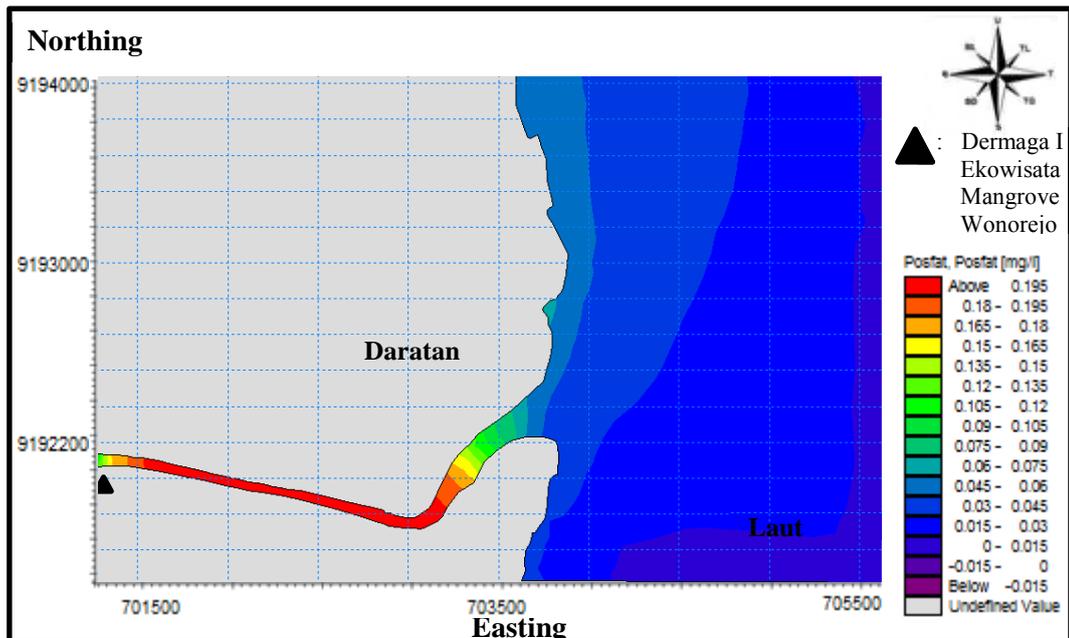
4.3.6.3 Hasil dan Analisa Sebaran Fosfat

Berikut disajikan hasil simulasi konsentrasi fosfat saat menuju pasang dan pasang tertinggi maupun saat menuju surut dan surut terendah.

Gambar 4.28 menunjukkan sebaran fosfat pada kondisi menuju pasang dengan konsentrasi terendah sebesar 0,01 mg/L di laut dan tertinggi sebesar 0,2 mg/L di sungai. Konsentrasi fosfat di muara berkisar 0,031 – 0,18 mg/L. Gambar 4.29 menunjukkan sebaran fosfat pada saat pasang tertinggi dengan konsentrasi terendah sebesar 0,011 mg/L di laut dan tertinggi sebesar 0,201 mg/L di sungai. Konsentrasi fosfat di muara berkisar 0,031 – 0,17 mg/L.



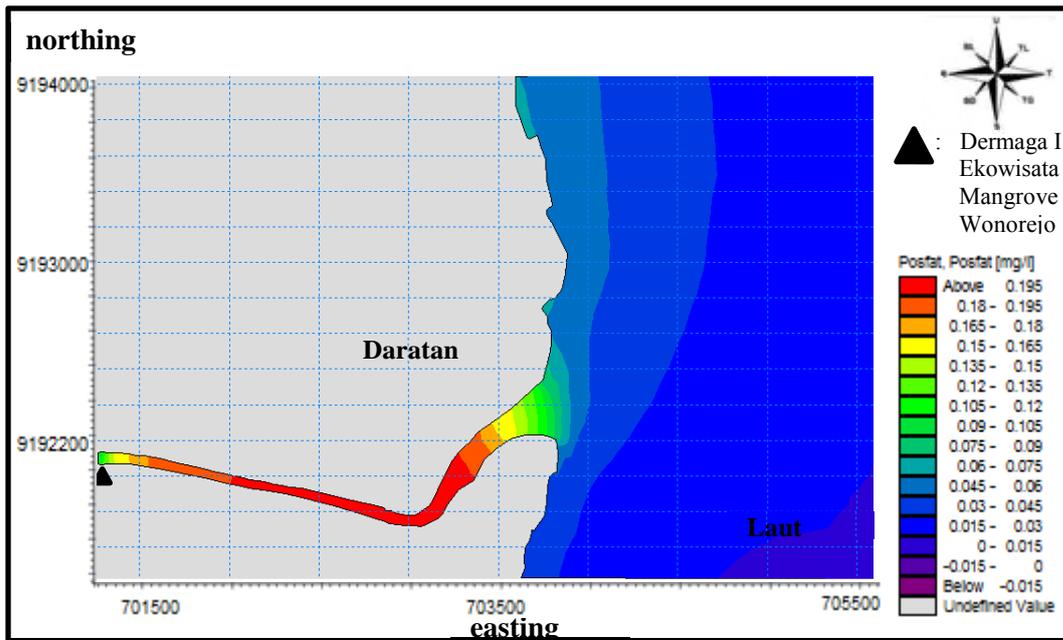
Gambar 4.28 Sebaran Fosfat saat Menuju Pasang (Pemodelan dengan Mike 21, 2016)



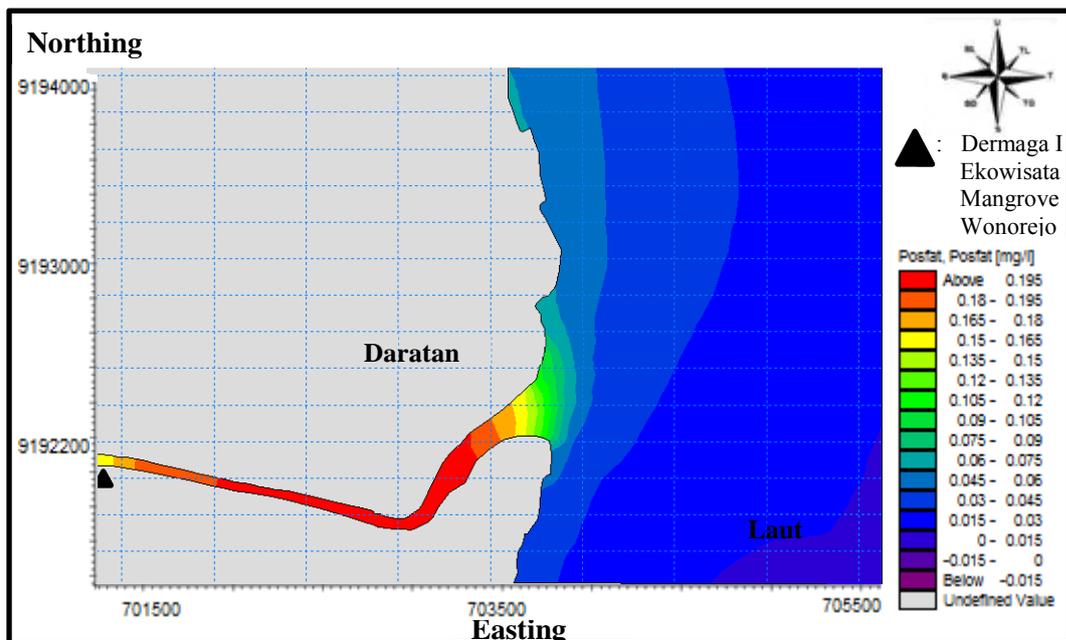
Gambar 4.29 Sebaran Fosfat saat Pasang Tertinggi (Pemodelan dengan Mike 21, 2016)

Gambar 4.28 dan Gambar 4.29 menjelaskan bahwa konsentrasi fosfat pada saat kondisi menuju pasang lebih kecil daripada saat pasang tertinggi, namun perbedaan tersebut tidak terlalu signifikan. Begitu pula dengan sebarannya yang cenderung sama.

Sedangkan Gambar 4.30 menunjukkan sebaran fosfat pada kondisi menuju surut dengan konsentrasi terendah sebesar 0,011 mg/L di laut dan tertinggi sebesar 0,201 mg/L di sungai. Konsentrasi fosfat di muara berkisar 0,034 – 0,192 mg/L. Gambar 4.31 menunjukkan sebaran fosfat pada saat surut terendah dengan konsentrasi terendah sebesar 0,011 mg/L di laut dan tertinggi sebesar 0,201 mg/L di sungai. Konsentrasi fosfat di muara berkisar 0,037 – 0,198 mg/L. Dari nilai-nilai tersebut dapat diketahui bahwa konsentrasi fosfat menjadi lebih tinggi saat kondisi surut terendah dibandingkan dengan saat menuju pasang. Seperti yang terjadi pada parameter-parameter kualitas air sebelumnya, yaitu DO dan BOD. Berdasarkan Gambar 4.30 dan Gambar 4.31, diketahui bahwa sebaran fosfat di wilayah estuari Wonorejo ini menjadi semakin luas ketika memasuki kondisi surut terendah, namun perbedaan menuju surut dan surut terendah tidaklah terlalu jauh.



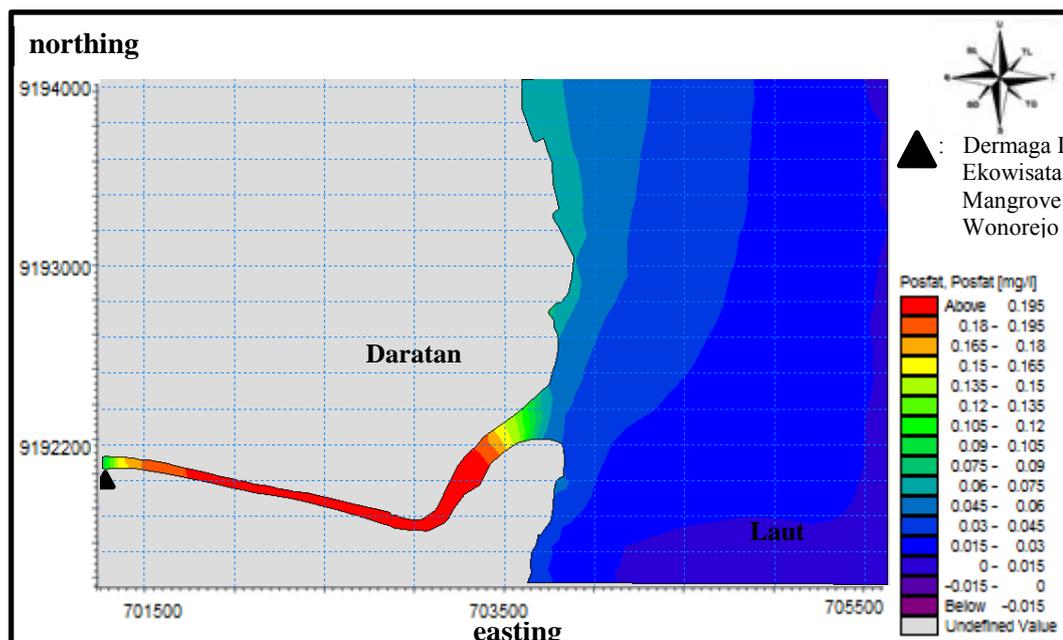
Gambar 4.30 Sebaran Fosfat saat Menuju Surut (Pemodelan dengan Mike 21, 2016)



Gambar 4.31 Sebaran Fosfat saat Surut Terendah (Pemodelan dengan Mike 21, 2016)

Gambar 4.30 dan Gambar 4.31 menunjukkan bahwa konsentrasi fosfat ketika surut menjadi lebih tinggi daripada saat pasang. Bahkan ketika surut terendah, persebaran fosfat di wilayah pesisir bagian utara menjadi lebih tinggi, yaitu sebesar 0,064 mg/L. Sedangkan ketika pasang tertinggi, fosfat di area pesisir hanya sebesar 0,057 mg/L. Perbedaan kepekatan konsentrasi fosfat ini dikarenakan adanya perbedaan massa air. Menurut Ongkosongo (2010), kondisi surut memiliki massa air yang lebih sedikit daripada ketika kondisi sedang pasang. Massa air selalu mengandung komponen-komponen fisik, kimia, dan biologi. Massa air yang lebih sedikit akan menimbulkan kepekatan konsentrasi dari parameter-parameter kualitas air. Hal itulah yang menyebabkan lebih tingginya konsentrasi fosfat pada saat surut dibandingkan ketika kondisi pasang.

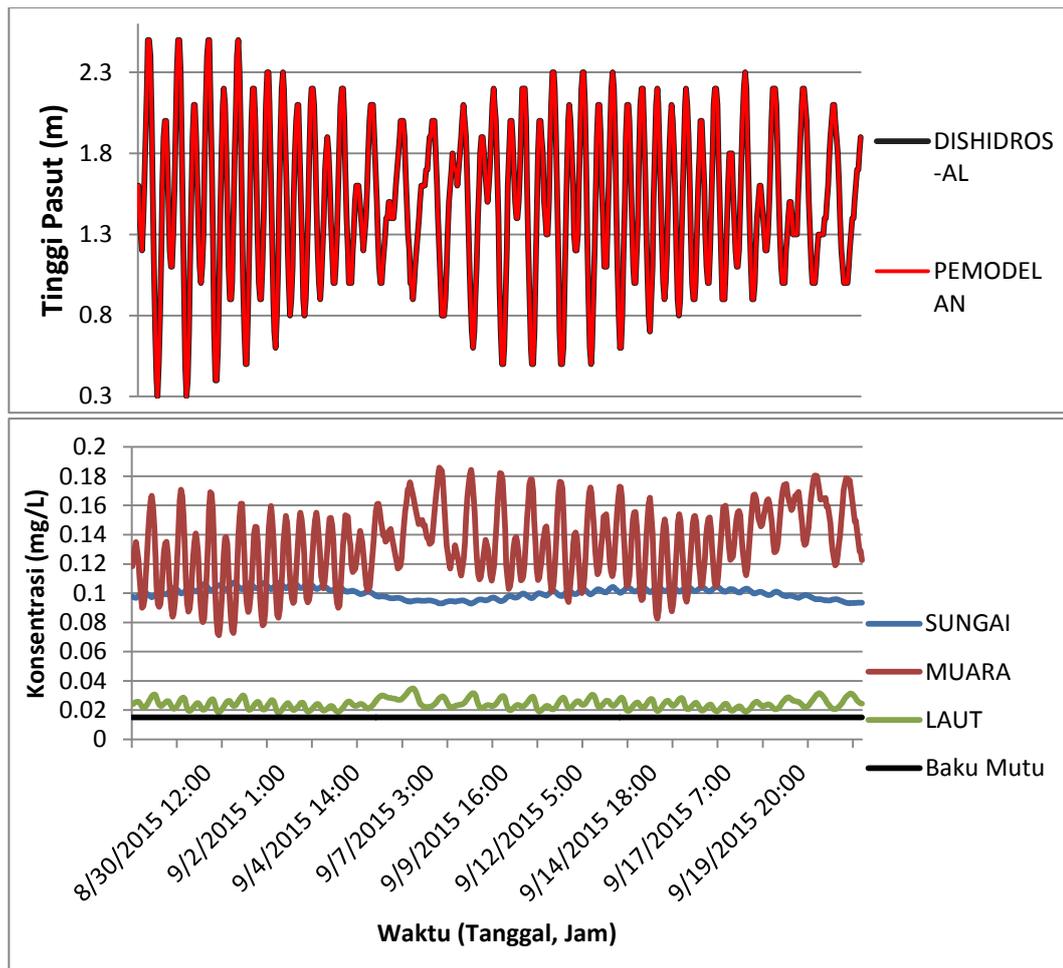
Setelah satu bulan, sebaran fosfat menunjukkan adanya perubahan. Sebaran fosfat menjadi semakin melebar hingga sampai ke pesisir Wonorejo bagian utara. Dibandingkan ketika saat surut terendah dengan konsentrasi yang lebih tinggi daripada saat pasang tertinggi, konsentrasi fosfat pada *Time Step* ke-719 untuk area pesisir menjadi lebih tinggi.



Gambar 4.32. Sebaran Fosfat Setelah Satu Bulan (Pemodelan dengan Mike 21, 2016)

Sebaran fosfat setelah satu bulan memperlihatkan adanya perubahan area yang terkontaminasi oleh fosfat. Area yang terkontaminasi fosfat menjadi lebih luas, terutama di daerah pesisir bagian utara. Konsentrasi fosfat menjadi semakin meningkat bahkan sangat jauh jika dibandingkan konsentrasinya di awal pemodelan (Lampiran 4.C). Area sungai mengalami peningkatan konsentrasi fosfat yang paling tinggi dikarenakan sumber fosfat yang berasal dari tambak berada di daerah sungai hingga muara.

Sedangkan Gambar 4.33 menunjukkan adanya perbedaan konsentrasi fosfat di sungai, muara, dan laut dari waktu ke waktu. Konsentrasi tertinggi fosfat berada di daerah muara dikarenakan di daerah tersebut terdapat banyak saluran dari tambak. Seperti pada Gambar 4.6 yang menunjukkan lokasi sumber pencemar. Pada Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa sumber pencemar yang terbanyak adalah di daerah muara sungai dari perairan estuari Wonorejo. Grafik perbandingan sebaran fosfat pada Gambar 4.33 tersebut juga menjelaskan bahwa sebaran fosfat dengan konsentrasi yang cukup tinggi berada di area sungai dan muara, sedangkan sebaran fosfat di laut tidak terlalu tinggi jika dibandingkan kedua area tersebut.



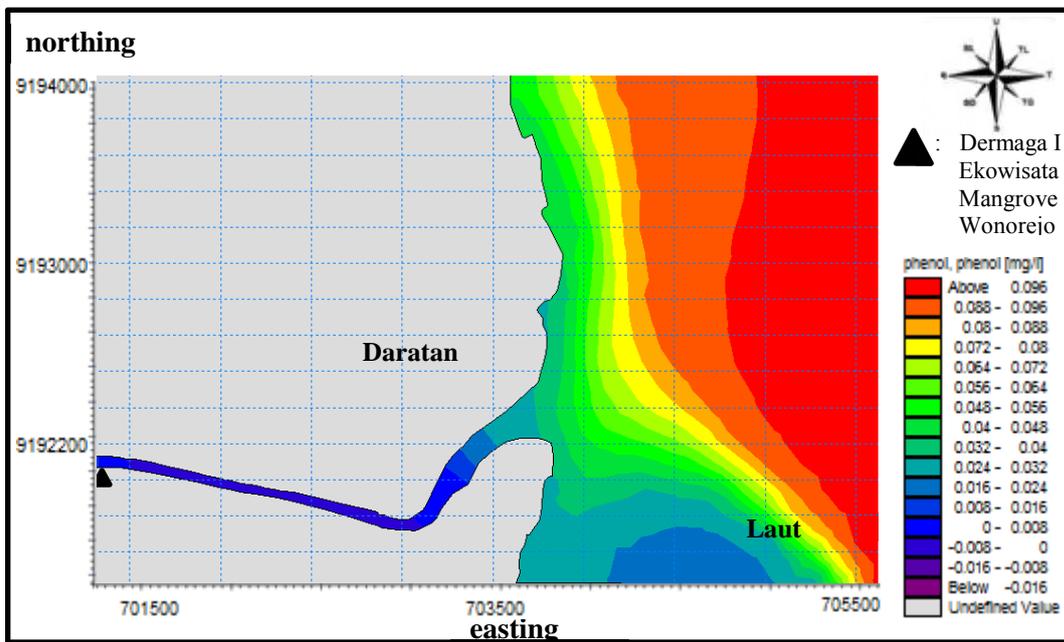
Gambar 4.33 Perbandingan Distribusi Fosfat di Sungai, Muara, dan Laut dengan Pasang Surut (Pengolahan Data Hasil Pemodelan, 2016)

4.3.6.4 Hasil dan Analisa Sebaran Fenol

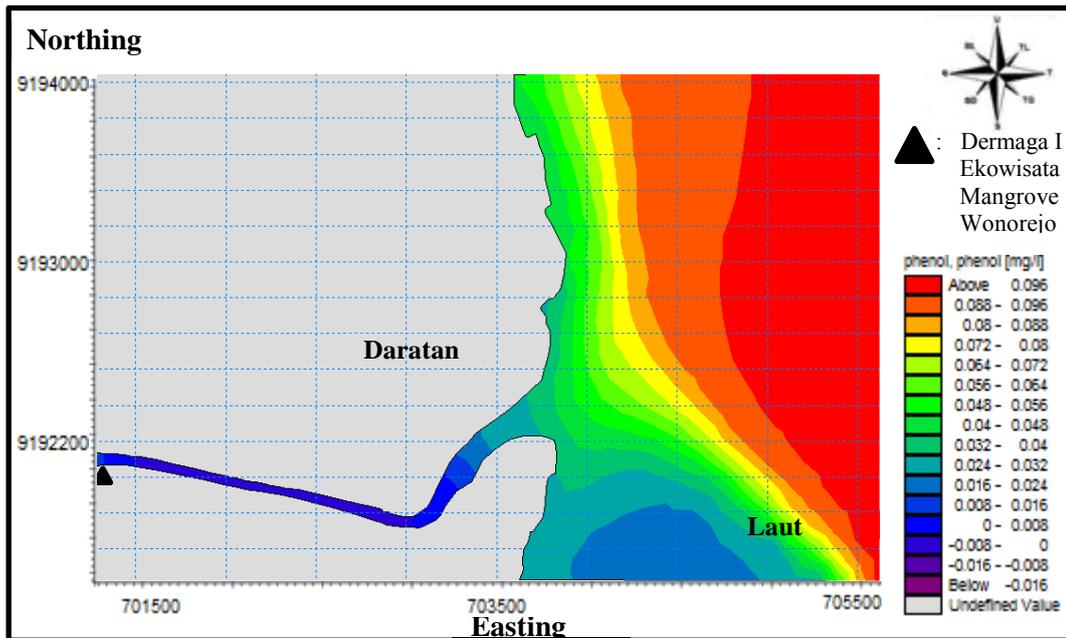
Adanya kontaminasi limbah dari lumpur lapindo di wilayah perairan estuari Wonorejo masih sebuah asumsi. Lumpur lapindo sendiri berasal dari *blow out* sumur migas yang sedang dilakukan pengeborannya. Dari hasil pengujian Laboratorium Biolinkungan F-MIPA Universitas Airlangga terdapat kandungan senyawa organik trichlorophenol dalam lumpur tersebut (DetikNews, 2006). Karena fenol merupakan salah satu polutan dari lumpur lapindo maka dilakukan analisa bagaimanakah sebaran fenol di perairan estuari Wonorejo.

Gambar 4.34 menunjukkan sebaran fenol saat kondisi menuju pasang dengan konsentrasi terendah di sungai sebesar 4×10^{-6} mg/L. Konsentrasi tertinggi

berada di laut bagian timur dengan nilai 0,1 mg/L. Dengan konsentrasi di muara sungai memiliki rentang 0,018 – 0,064 mg/L. Gambar 4.35 menunjukkan sebaran fenol saat pasang tertinggi dengan konsentrasi terendah di sungai sebesar -7×10^{-6} mg/L. Konsentrasi tertinggi berada di laut bagian timur dengan nilai 0,1 mg/L. Dengan konsentrasi di muara sungai memiliki rentang 0,021 – 0,066 mg/L.



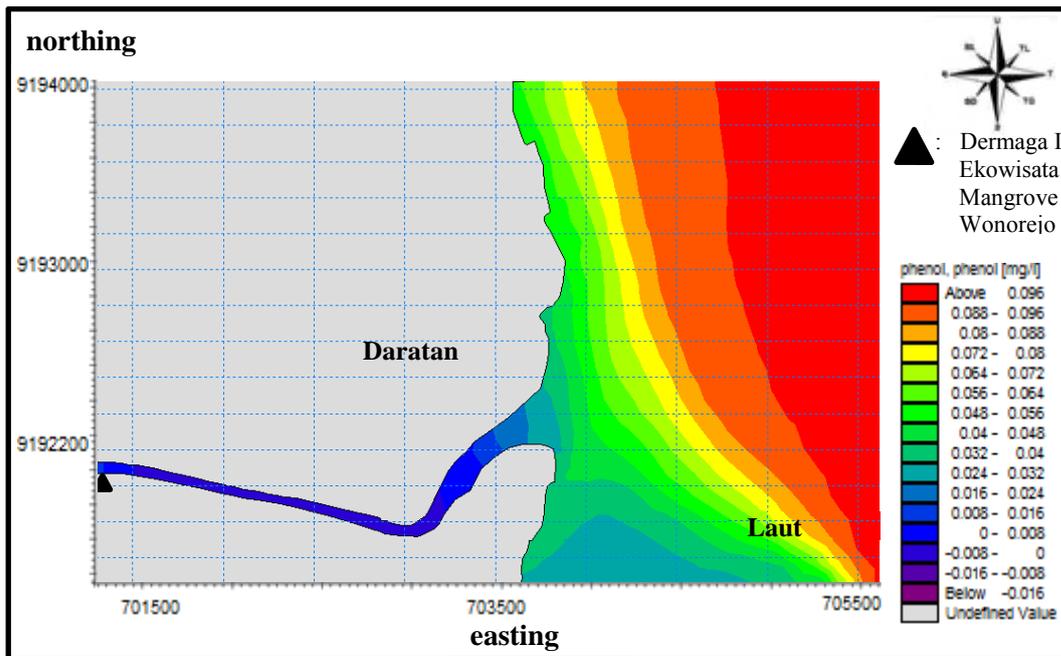
Gambar 4.34 Sebaran Fenol saat Menuju Pasang (Pemodelan dengan Mike 21, 2016)



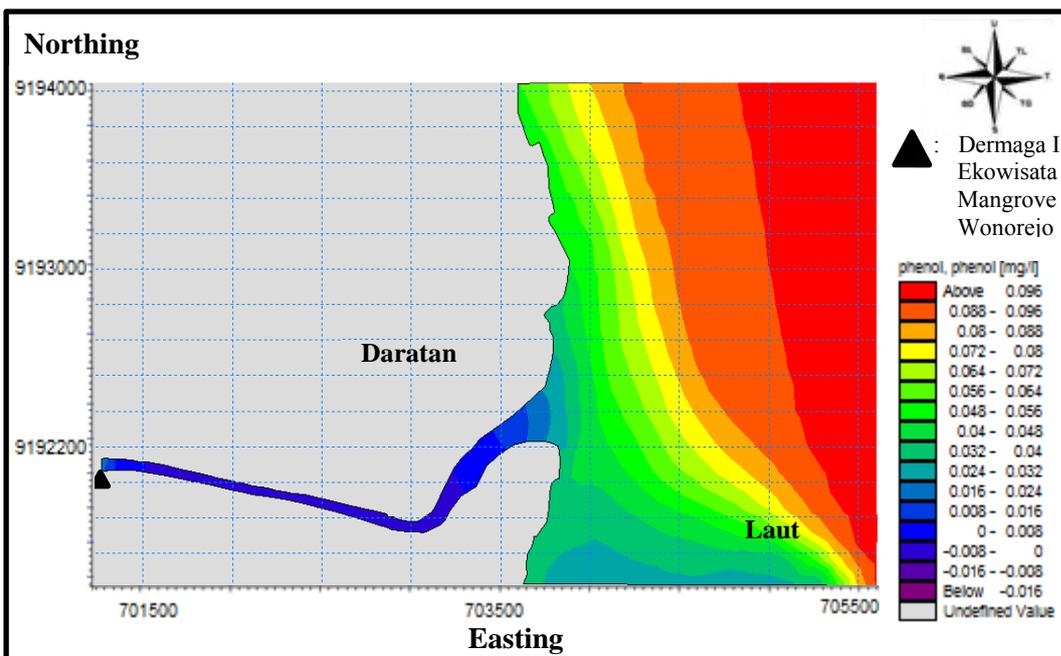
Gambar 4.35 Sebaran Fenol saat Pasang Tertinggi (Pemodelan dengan Mike 21, 2016)

Gambar 4.34 dan Gambar 4.35 menjelaskan bahwa konsentrasi fenol pada saat pasang tertinggi lebih besar dibandingkan pada saat menuju pasang. Seperti halnya parameter-parameter kualitas air yang lain, hal ini dikarenakan kecepatan arus yang lebih besar pada saat menuju pasang menyebabkan sebaran fenol tersebar lebih merata dan tidak menjadi cukup tinggi di suatu tempat, sehingga konsentrasinya menjadi lebih rendah.

Gambar 4.36 menunjukkan sebaran fenol saat menuju surut dengan konsentrasi terendah di sungai sebesar $-1,3 \times 10^{-5}$ mg/L. Konsentrasi tertinggi berada di laut dengan besar 0,099 mg/L. Dengan konsentrasi di muara sungai memiliki rentang 0,006 – 0,063 mg/L. Sedangkan Gambar 4.37 menunjukkan sebaran fenol saat surut terendah dengan konsentrasi terendah di sungai sebesar -1×10^{-5} mg/L. Konsentrasi tertinggi berada di laut dengan besar 0,0993 mg/L. Dengan konsentrasi di muara sungai memiliki rentang 0,002 – 0,059 mg/L. Berbeda dengan parameter lain, konsentrasi fenol saat menuju surut justru lebih tinggi daripada surut terendah.

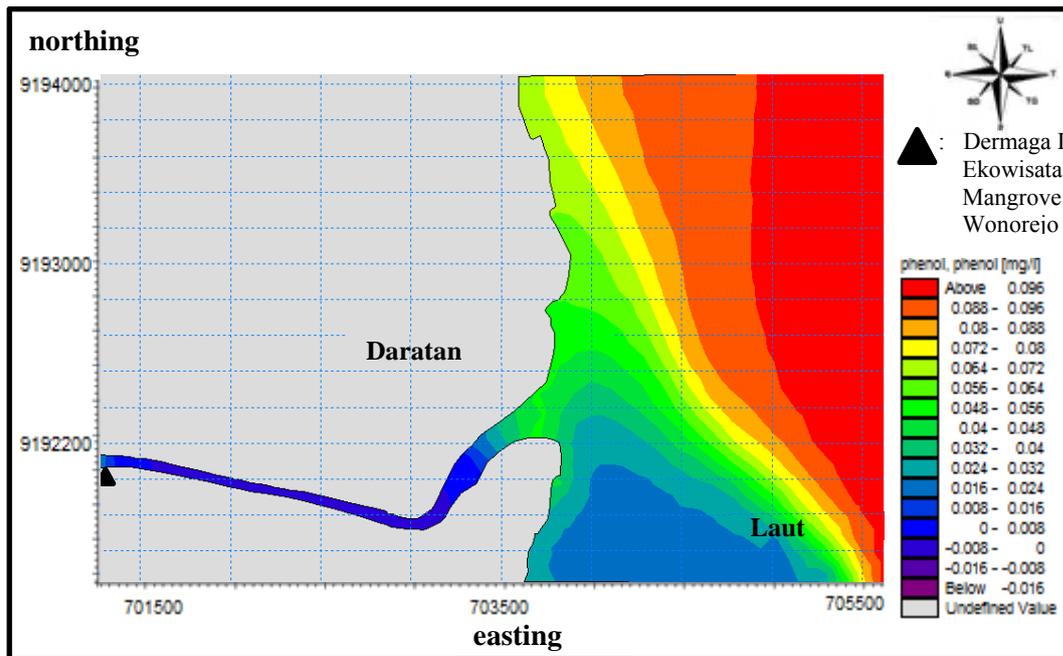


Gambar 4.36 Sebaran Fenol saat Menuju Surut (Pemodelan dengan Mike 21, 2016)



Gambar 4.37 Sebaran Fenol saat Surut Terendah (Pemodelan dengan Mike 21, 2016)

Gambar 4.34 hingga Gambar 4.37 menunjukkan bahwa konsentrasi fenol ketika surut umumnya menjadi lebih rendah daripada saat pasang, berbeda dengan parameter-parameter kualitas air yang lain. Begitu pula perbandingan konsentrasi fenol saat menuju surut yang lebih tinggi daripada surut terendah, tetapi menjadi lebih rendah saat kondisi menuju pasang daripada ketika pasang tertinggi. Perbedaan kepekatan konsentrasi fenol ini menunjukkan bahwa sumber fenol bukanlah dari sungai maupun muara, namun dari laut. Hal ini dapat dibuktikan dengan konsentrasi fenol di laut yang jauh lebih besar daripada di sungai maupun muara. Sehingga ketika kondisi menuju pasang terjadi maka muatan fenol yang berasal dari laut akan terbawa ke arah sungai hingga konsentrasinya di sungai dan muara lebih tinggi. Kemudian menjadi lebih tinggi lagi saat pasang tertinggi karena air laut terus mengalir masuk menuju sungai. Ketika menuju surut muatan fenol yang terbawa tersebut mulai kembali ke laut hingga konsentrasi fenol di sungai dan muara umumnya menjadi lebih rendah, dan terus berkurang saat surut terendah karena air mengalir masih keluar dari sungai menuju laut. Fenomena ini diperkuat dengan nilai konsentrasi pada pemodelan dengan nilai negatif. *Output* yang muncul pada pemodelan menggunakan Mike 21 dengan nilai yang negatif berarti sumber pencemar berasal dari lingkungan, nilai negatif juga menunjukkan arah yang berarti sumber air buangan tidak menuju lingkungan, tapi justru menjauhi lingkungan (DHI, 2012b).



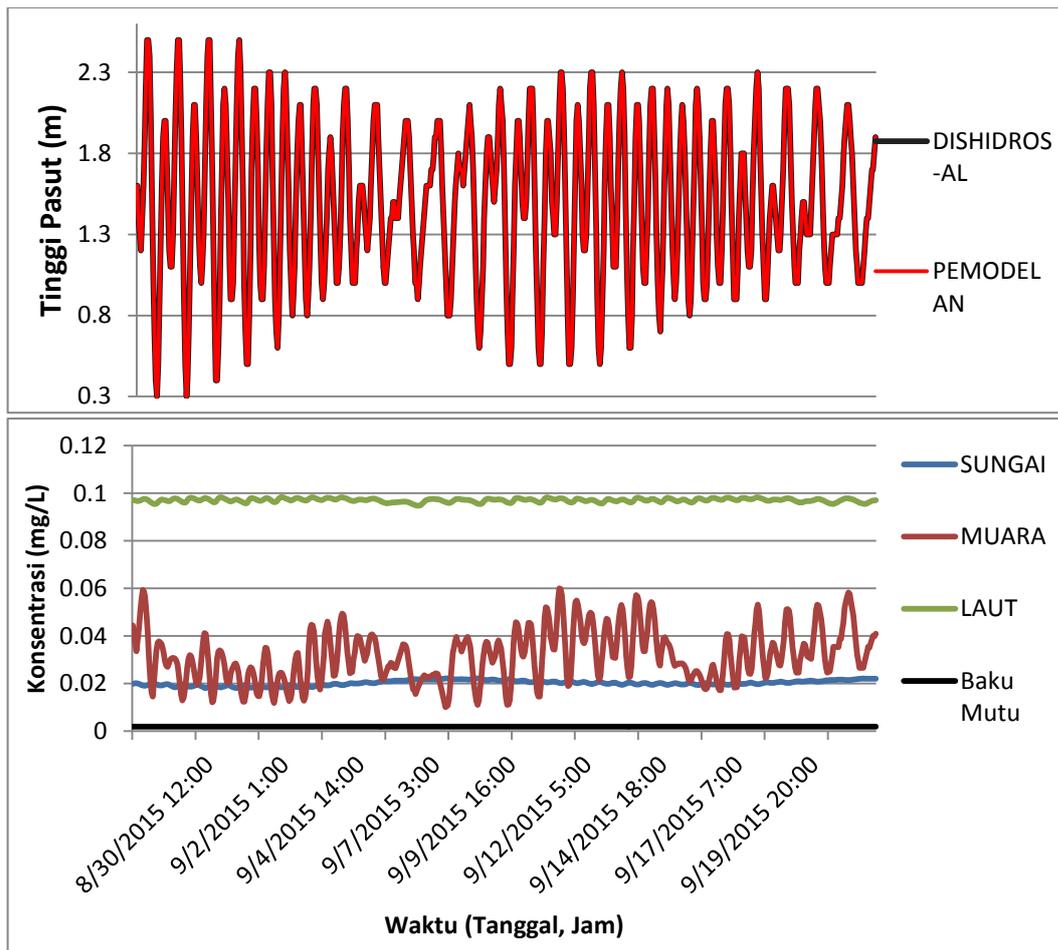
Gambar 4.38 Sebaran Fenol Setelah Satu Bulan (Pemodelan dengan Mike 21, 2016)

Setelah satu bulan, sebaran fenol menunjukkan adanya perubahan. Konsentrasi fenol menjadi semakin tinggi, pada tanggal 24 Agustus 2015 rata-rata konsentrasi fenol di estuari Wonorejo adalah 0,038 mg/L, namun pada tanggal 21 September 2015 meningkat menjadi 0,046 mg/L (Lampiran 4.D). Kontaminasi fenol pada area muara menjadi semakin tinggi, hal ini dapat dilihat dari warnanya yang menjadi semakin hijau yang berarti konsentrasinya semakin pekat. Namun untuk area laut bagian selatan, warna biru menjadi lebih luas dibandingkan pada saat pasang tertinggi maupun surut terendah. Hal ini membuktikan bahwa asumsi masyarakat tentang kontaminasi limbah dari lumpur lapindo Sidoardjo tidak dapat dibuktikan.

Hasil uji Laboratorium Biolinguangan F-MIPA Universitas Airlangga juga menunjukkan konsentrasi fenol lumpur lapindo masih di bawah baku mutu (DetikNews, 2006). Hal ini diperkuat dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Suntoyo, dkk. (2014) yang menunjukkan sebaran dan konsentrasi parameter-parameter kualitas air di estuari Porong, Sidoardjo sebagai akibat dari adanya lumpur lapindo. Penelitian tersebut menunjukkan di area estuari Porong yang

tergolong dekat dengan sumber lumpur saja masih dalam kategori aman dan tidak melewati batas baku mutu dari KEPMEN LH No. 51/2004. Kontaminasi tersebut justru berasal dari laut bagian utara, yang searah dengan pulau Madura. Hal ini menjelaskan adanya dugaan sumber fenol yang berasal dari selat Madura karena banyaknya pelabuhan di selat tersebut sehingga terdapat kemungkinan adanya tumpahan-tumpahan minyak pada kapal-kapal yang berlayar di selat Madura. Menurut Wardhani, dkk. (2011), jalur pelayaran laut Surabaya Timur termasuk dalam kawasan yang sangat rentan terhadap pencemaran minyak yang berasal dari limbah atau buangan kapal-kapal di pelabuhan maupun yang melintasi perairan, dan aktivitas pertambangan. Selain itu, dalam Mukhtasor (2007) disebutkan bahwa fenol merupakan salah satu parameter yang terdapat dalam limbah hasil produksi minyak dan gas.

Gambar 4.39 adalah grafik yang menunjukkan adanya perbedaan konsentrasi fenol di sungai, muara, dan laut dari waktu ke waktu. Konsentrasi tertinggi fenol berada di laut sedangkan konsentrasi terendah berada di area sungai. Hal ini dikarenakan sumber pencemar tidak berada di sungai, namun berada di lingkungan, yaitu laut.



Gambar 4.39 Perbandingan Sebaran Fenol di Sungai, Muara, dan Laut dengan Pasang Surut (Pengolahan Data Hasil Pemodelan, 2016)

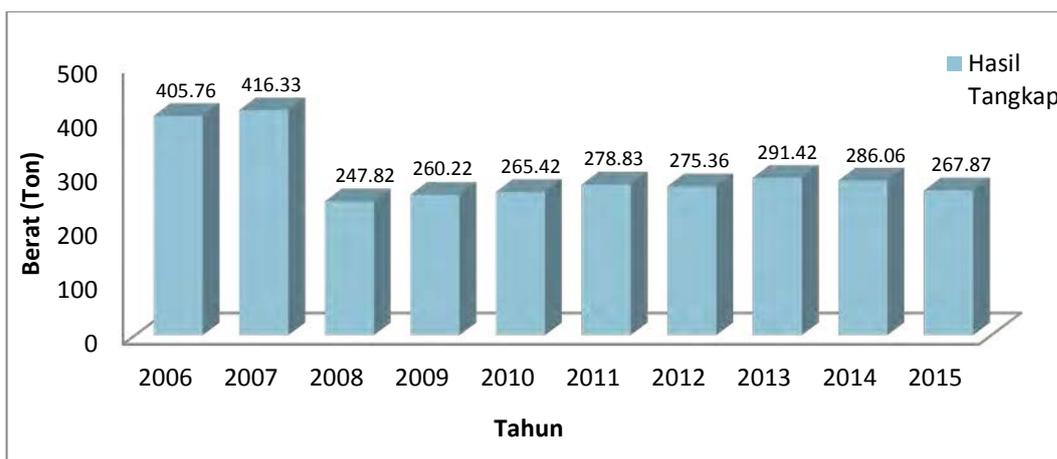
Pada semua grafik, konsentrasi parameter-parameter kualitas air pada area muara sungai menunjukkan sebaran yang jauh lebih fluktuatif dibandingkan area laut maupun sungai. Hal ini dikarenakan muara sungai merupakan daerah pertemuan antara massa air sungai dengan massa air dari tubuh air yang jauh lebih luas, dalam hal ini adalah laut. Menurut Ongkosongo (2010), pengaruh pasut yang besar di area tersebut menyebabkan massa air laut yang luas mudah tertarik. Karena pasut yang berubah-ubah secara cepat setiap waktu, menyebabkan perairan muara menjadi sangat dinamik. Begitu juga menurut Mukhtasor (2007), yang menjelaskan adanya arus pasang surut memberikan peran penting sebagai pengangkut zat hara. Arus pasang surut ini juga berperan penting dalam mengencerkan dan menggelontorkan limbah yang sampai di laut. Inilah yang

menjadi alasan mengapa konsentrasi parameter-parameter kualitas air menjadi lebih fluktuatif di area muara sungai Wonorejo.

4.4 Pengaruh Kualitas Air di Estuari Wonorejo terhadap Ekosistem Perairan Estuari

Estuari sebagai perairan semi tertutup terdapat di hilir sungai dan masih berhubungan dengan laut memungkinkan terjadinya pencampuran air laut dan air tawar dari sungai atau drainase yang berasal dari muara sungai maupun rawa pasang surut. Nutrien dari sungai memperkaya estuari sehingga secara keseluruhan perairan estuari termasuk ekosistem yang sangat produktif dengan berbagai komunitas tumbuhan dan hewan. Komunitas tumbuhan yang hidup di estuari adalah rumput rawa garam, ganggang, dan fitoplankton. Komunitas hewannya antara lain berbagai cacing, kerang, kepiting, dan ikan. Terdapat pula beberapa invertebrata laut dan ikan laut yang menjadikan estuari sebagai tempat memijah atau bermigrasi untuk menuju habitat air tawar. Estuari juga merupakan tempat mencari makan bagi vertebrata semi air, yaitu unggas air. Namun, estuari juga merupakan perairan yang paling mudah mendapat gangguan dari berbagai aktivitas manusia dan proses-proses alamiah lingkungan (Asriyana dan Yuliana, 2012).

Kondisi kualitas air dalam suatu perairan sangat berpengaruh terhadap ekosistem di perairan itu sendiri. Menurut BLH (2013), perairan laut di daerah Wonorejo memiliki kekeruhan, padatan tersuspensi, fosfat, nitrat, dan total koliform yang telah melebihi baku mutu. Berdasarkan indeks diversitas plankton, perairan tersebut tergolong tercemar ringan. Dengan kondisi kualitas air tersebut, dari hasil wawancara yang dilakukan oleh BLH (2013) kepada penduduk setempat, pernah terjadi pula ikan mabuk dalam jumlah besar di sepanjang Kali Surabaya hingga muara Kali Wonokromo sekali dalam setahun. Begitu pula dengan hasil tangkap ikan di perairan laut Rungkut, termasuk Wonorejo di dalamnya, yang terus menurun selama dua tahun terakhir ini, seperti pada grafik pada Gambar 4.40.



Gambar 4.40 Hasil Tangkap Laut di Rungkut Selama 10 Tahun Terakhir (Divisi Perikanan dan Kelautan - Dinas Pertanian Surabaya, 2015)

Sejak tahun 2008, hasil tangkap laut di Rungkut sudah menurun cukup signifikan. Pada tahun 2011 dan 2013 terjadi peningkatan kecil namun kembali turun di tahun berikutnya. Hingga dua tahun terakhir ini telah terjadi penurunan, dari hasil tangkap sebesar 291,42 ton pada tahun 2013 menjadi 267,87 ton pada tahun 2015. Untuk mengetahui penurunan hasil tangkap ini, maka beberapa sub bab pembahasan berikut akan mengkaji adanya hubungan antara penurunan beberapa parameter kualitas air yang telah dimodelkan, yaitu DO, BOD, fosfat, dan fenol dengan beberapa spesies penghuni ekosistem perairan estuari Wonorejo.

4.4.1 Pengaruh DO terhadap Ekosistem Perairan Estuari Wonorejo

Dissolved oxygen (DO) atau oksigen terlarut merupakan jumlah oksigen yang tersedia dalam suatu perairan. Oksigen merupakan salah satu materi terpenting dalam kehidupan organisme, begitu pula dengan DO sebagai oksigen yang sangat dibutuhkan dalam ekosistem perairan. Menurut Kordi, dkk. (2007), oksigen dalam perairan dihasilkan melalui proses difusi dari udara yang mengandung 20,95% oksigen, namun proses tersebut terjadi secara cepat pada permukaan air dan bergerak sangat lambat ke lapisan yang lebih dalam. Sumber lainnya adalah dari proses fotosintesis tumbuhan akuatik termasuk fitoplankton, sumber ini merupakan yang terbesar dalam menghasilkan oksigen terlarut di perairan. Sumber oksigen lainnya adalah dari aliran baru yang masuk ke dalam

perairan karena adanya turbulensi air. Selain itu oksigen juga dapat berkurang karena adanya proses respirasi dan reaksi kimia. Oksigen juga dapat berkurang melalui proses difusi apabila oksigen dalam perairan tersebut telah lewat jenuh sehingga terjadi difusi oksigen dari air ke udara.

Suhu dan salinitas juga dapat mempengaruhi konsentrasi DO dalam suatu perairan. Suhu dan salinitas yang semakin tinggi menyebabkan semakin rendahnya DO dalam perairan (Kordi, dkk., 2007). Inilah yang menyebabkan DO dalam hasil simulasi terlihat lebih tinggi di sungai daripada di laut, selain dipengaruhi adanya lebih banyak limbah dan material organik lainnya di laut pada perairan estuari Wonorejo tersebut. Laut memiliki suhu dan salinitas yang lebih tinggi daripada sungai.

Kondisi DO di perairan Wonorejo dari tahun ke tahun terus mengalami penurunan. Pada tahun 2011, DO di kali Wonokromo dengan titik pengambilan sampel di jembatan Merr yang cukup dekat dan masih satu sungai dengan perairan Wonorejo memiliki konsentrasi 7,4 mg/L di bulan Agustus (BLH, 2011). Pada tahun 2012, DO menurun menjadi 7,36 mg/L (BLH, 2013). Kemudian pada tahun 2015, sesuai hasil simulasi model di bulan yang sama DO semakin menurun menjadi 5,54 mg/L. Penurunan DO ini berbanding lurus dengan hasil tangkap ikan di wilayah tersebut. Data dari Dinas Pertanian, Divisi Perikanan dan Kelautan menunjukkan adanya penurunan hasil tangkap di Rungkut dari tahun ke tahun pula. Pada tahun 2011, hasil tangkap ikan masih seberat 278,83 ton. Pada tahun 2012 menurun menjadi 275,36 ton. Kemudian, pada tahun 2015 semakin menurun menjadi 267,87 ton.

Sedangkan baku mutu DO untuk biota laut sesuai dengan Kepmen LH No. 51 Tahun 2004 adalah lebih dari 5 mg/L, yang berarti biota laut masih dapat hidup dengan baik selama konsentrasi DO di perairan tidak kurang dari 5 mg/L. Berdasarkan hasil simulasi pemodelan kualitas air yang telah dilakukan dengan menggunakan Mike 21, konsentrasi DO secara umum masih menunjukkan diatas 5 mg/L. Dari hasil tersebut, maka dapat dikatakan kondisi DO di perairan estuari Wonorejo masih tergolong aman saat ini. Namun konsentrasinya yang semakin menurun dengan nilai yang berada di ambang batas baku mutu (masih dalam angka 5 mg/L) menjadi ancaman bagi ekosistem perairan estuari Wonorejo.

Kondisi DO dapat menipis bahkan mengalami *hypoxia* pada waktu-waktu selanjutnya apabila penyebab menurunnya DO terus terjadi.

Baku mutu yang telah dikeluarkan dalam Kepmen LH No.51 Tahun 2004 sendiri merupakan batas toleransi biota laut terhadap konsentrasi DO secara umum. Setiap organisme yang hidup di perairan memiliki batas toleransi terhadap konsentrasi DO yang berbeda-beda. Ada yang mampu bertahan pada konsentrasi 5 mg/L, ada pula yang sudah dalam kondisi ekstrim pada konsentrasi tersebut. Tabel 4.9 menunjukkan beberapa spesies biota laut yang hidup di estuari Wonorejo berdasarkan data dari BLH (2013) dengan batas toleransinya terhadap DO dari berbagai sumber.

Tabel 4.9 Batas Toleransi Biota Laut Estuari Wonorejo Terhadap DO

Nama Umum	Nama Ilmiah	Konsentrasi DO (mg/L)
Bandeng	<i>Chanos chanos</i>	4 – 7 ¹
Kakap putih	<i>Lates calcarifer</i>	3 – 7 ¹
Ketang ketang	<i>Scatophagus argus</i>	4 – 7 ¹
Udang windu	<i>Penaeus monodon</i>	5 – 10 ¹
Udang putih	<i>Penaeus merguensis</i>	5 – 10 ¹
Kepiting bakau	<i>Scylla serrata</i>	4,5 – 6 ²
Kerang hijau	<i>Perna viridis</i>	3 – 7 ¹
Kerang darah	<i>Anadara granosa</i>	3 – 6 ¹

Sumber: ¹ Kordi, dkk. (2007)

² Tim Karya Tani Mandiri (2012)

Berdasarkan Tabel 4.9, dapat diketahui bahwa dengan kondisi DO di perairan estuari Wonorejo saat ini, beberapa biota laut yang disebutkan tersebut masih dalam kondisi aman dan mampu bertahan. Namun, untuk udang putih maupun udang windu, kondisi tersebut sudah termasuk kondisi yang kritis. Menurut Boyd (1995) dalam Kordi, dkk. (2007), konsentrasi DO sebesar 1 mg/L hingga 5 mg/L akan menyebabkan pertumbuhan udang terganggu bila berlangsung terus-menerus. Hal ini dapat dibuktikan dari pernyataan nelayan di

estuari Wonorejo yang menyebutkan mulai berkurangnya udang putih sebagai hasil tangkapan mereka, sedangkan udang windu justru hanya dapat dipanen dari hasil tambak. Begitu pula dengan data dari Dinas Pertanian Surabaya, Divisi Kelautan dan Perikanan (2015), pada tahun 2006 hingga 2009 masih terdapat hasil tangkap udang lainnya selain udang putih, termasuk udang barong. Namun sejak tahun 2010 hingga saat ini hasil tangkap laut berupa udang, hanyalah udang putih dengan jumlah tangkapan yang terus menurun. Pada tahun 2014, hasil tangkap udang putih masih sebanyak 320,87 ton untuk wilayah Surabaya dan menurun pada tahun 2015 menjadi 300,96 ton. Bahkan meskipun bandeng memiliki batas toleransi terhadap DO yang lebih baik dibandingkan udang, kini sudah sangat jarang ditemukan di perairan estuari Wonorejo secara bebas.

Beberapa biota laut yang masih mampu bertahan dan cukup banyak ditemukan di perairan estuari Wonorejo antara lain belanak, kerang, dan kepiting. Menurut Kannappan, dkk. (2013), berdasarkan penelitian yang telah mereka lakukan, maka diketahui bahwa belanak (*Liza subviridis*) dan kepiting bakau (*Scylla serrata*) masih mampu bertahan pada perairan dengan konsentrasi DO sebesar 3,29 – 5,44 mg/L. Batas toleransi terhadap DO yang cukup luas inilah yang membuat spesies-spesies tersebut masih mampu hidup pada perairan estuari Wonorejo dengan kondisi DO yang hampir di ambang batas baku mutu.

4.4.2 Pengaruh BOD terhadap Ekosistem Perairan Estuari Wonorejo

BOD merupakan jumlah oksigen yang diperlukan bakteri maupun protozoa dalam penguraian bahan organik. Besarnya nilai BOD tergantung pada konsentrasi dan banyaknya bahan organik yang terdapat dalam perairan. Bahan-bahan organik dalam perairan yang diurai oleh organisme-organisme tersebut umumnya berupa tumbuhan mati, daun, serpihan lamun, pupuk, kotoran, maupun sampah makanan yang dibuang di perairan tersebut. Dalam melakukan prosesnya, bakteri aerob membutuhkan oksigen sehingga oksigen terlarut atau DO yang tersedia di perairan untuk dikonsumsi organisme akuatik lainnya menjadi berkurang. Penurunan DO inilah yang kemudian menyebabkan organisme-organisme perairan tidak mampu bertahan, termasuk larva dan nimfa dari serangga di perairan yang umumnya membutuhkan kandungan oksigen tinggi.

Baku mutu BOD untuk biota laut sesuai dengan Kepmen LH No. 51 Tahun 2004 adalah 20 mg/L, yang berarti biota laut masih dapat hidup dengan baik selama konsentrasi BOD di perairan tidak lebih dari 20 mg/L. Konsentrasi BOD di perairan estuari Wonorejo masih jauh di bawah 20 mg/L, sehingga dapat dikatakan bahwa dalam perairan tersebut tidak cukup banyak material organik yang dapat menyebabkan aktivitas bakteri aerob meningkat sehingga DO menjadi turun. Tidak banyaknya material organik menyebabkan konsentrasi BOD dalam perairan tersebut cenderung stabil.

Dari laman yang diterbitkan oleh Polyseed (penyuplai bahan laboratorium internasional yang telah disetujui oleh EPA), disebutkan kriteria dari kualitas air berdasarkan konsentrasi BOD. Konsentrasi BOD yang berkisar 3 – 5 mg/L menunjukkan perairan tersebut cukup bersih, yang berarti perairan estuari Wonorejo untuk area sungai dan muara masih cukup bersih dari material organik. Namun konsentrasi BOD antara 6 mg/L hingga 9 mg/L menunjukkan perairan tersebut sedikit terpolusi, dalam hal ini area laut pada estuari Wonorejo masuk dalam kategori tersebut. Kategori ini juga mengindikasikan adanya material organik yang cukup banyak sehingga banyak bakteri yang melakukan penguraian di area tersebut. Secara umum, dapat dikatakan bahwa material atau sampah organik bukanlah penyebab utama pencemaran pada perairan estuari Wonorejo.

4.4.3 Pengaruh Fosfat terhadap Ekosistem Perairan Estuari Wonorejo

Fosfat yang ditemukan dalam perairan berbentuk senyawa organik yang biasa berada pada jaringan hidup dan keluar dalam bentuk feses ataupun bangkai dan dapat pula berbentuk senyawa anorganik dalam bentuk partikel maupun larutan (Rustam, dkk., 2012). Sumber lainnya dapat berasal dari limbah domestik di sungai, pupuk dari aktivitas pertanian dan pertambangan batuan fosfat, maupun dari penggundulan hutan (Rumhayati, 2010). Berdasarkan lingkungan di sekitar perairan estuari Wonorejo, maka dapat diperkirakan bahwa sumber dari fosfat yang muncul di perairan tersebut berasal dari limbah domestik serta pupuk yang berasal dari tambak.

Tambak-tambak di daerah Wonorejo merupakan tambak tradisional yang tidak memberi pakan secara langsung pada biota budidaya, namun dengan cara

memberi pupuk pada tambak agar alga dapat tumbuh subur. Namun sistem sirkulasi air di tambak-tambak tradisional ini adalah dengan membuang langsung air tambak ke perairan estuari Wonorejo. Sehingga fosfat yang berasal dari pupuk di tambak juga turut mencemari perairan estuari Wonorejo. Begitu pula dengan polutan yang terdapat di perairan estuari Wonorejo akan mencemari perairan tambak.

Baku mutu fosfat untuk biota laut sesuai dengan Kepmen LH No. 51 Tahun 2004 adalah 0,015 mg/L, yang berarti biota laut masih dapat hidup dengan baik selama konsentrasi fosfat di perairan tidak lebih dari 0,015 mg/L. Sedangkan konsentrasi fosfat dari hasil simulasi menunjukkan semua area di wilayah perairan estuari Wonorejo telah melewati batas baku mutu tersebut. Bahkan konsentrasi fosfat terus meningkat hingga mencapai rata-rata 0,08 mg/L setelah satu bulan. Konsentrasi tersebut cukup jauh di atas baku mutu yang telah ditetapkan.



Gambar 4.41 Salah Satu Pipa Pembuangan Air Tambak di Perairan Estuari Wonorejo (Foto Pribadi, 2015)

Berdasarkan Joshimura *dalam* Patty (2013), konsentrasi fosfat 0,08 mg/L tersebut masuk dalam kategori perairan yang subur. Dimana kategori subur ini

menandakan sudah terdapat banyak tumbuhan akuatik termasuk fitoplankton yang mampu menghasilkan oksigen di perairan.

Hasil simulasi menunjukkan baik konsentrasi fosfat maupun konsentrasi DO menjadi tinggi di area sungai daripada laut. Selain karena faktor temperatur dan salinitas, jumlah DO dalam perairan juga dipengaruhi oleh banyaknya oksigen hasil fotosintesis dari tumbuhan air yang hidup di perairan tersebut. Ketika fosfat tinggi maka perairan menjadi subur dan mengakibatkan pertumbuhan tumbuhan akuatik menjadi lebih pesat, diiringi pula dengan proses fotosintesis yang semakin pesat sehingga konsentrasi DO di perairan menjadi lebih tinggi. Ketika malam hari, proses fotosintesis tidak terjadi, dan tumbuhan-tumbuhan akuatik tersebut tidak menghasilkan oksigen tetapi juga mengkonsumsi oksigen untuk proses respirasi. Sehingga, pada malam hari, ketika semua organisme perairan mengkonsumsi oksigen, maka konsentrasi DO akan menjadi turun. Hasil simulasi pemodelan kualitas air dengan menggunakan Mike 21 ini juga membuktikan umumnya konsentrasi DO di setiap malam cenderung lebih kecil dibandingkan ketika siang hari (Lampiran 4.A).

Berdasarkan penjelasan diatas, dapat dikatakan bahwa perairan yang subur bukan berarti perairan dengan kondisi yang baik. Beberapa organisme yang terangsang cepat akan adanya fosfat umumnya akan mendominasi hingga kemudian muncul fenomena HABs (*Harmfull Algae Blooms*) atau peledakan pertumbuhan alga. Menurut Rumhayati (2010), kelebihan fosfat di perairan menyebabkan peristiwa eutrofikasi dengan efek samping menurunnya konsentrasi oksigen dalam badan air sehingga menyebabkan kematian biota air. Selain itu, kemunculan alga biru yang kemudian tumbuh subur karena melimpahnya fosfat mampu memproduksi senyawa racun yang dapat meracuni badan air. Fosfat sendiri bukan merupakan racun bagi kehidupan perairan namun munculnya dalam jumlah banyak inilah yang menyebabkan peristiwa eutrofikasi. Menurut Oram (Tanpa Tahun), fosfat dalam perairan akan menstimulasi pertumbuhan plankton dan tumbuhan air yang merupakan makanan bagi ikan. Hal ini akan menyebabkan meningkatnya jumlah populasi ikan dan meningkatnya kualitas air. Namun, konsentrasi fosfat yang berlebih menyebabkan plankton dan tumbuhan air tersebut tumbuh cepat hingga menutupi seluruh perairan dan menggunakan sebagian besar

oksigen dalam perairan tersebut. Fenomena ini dapat menyebabkan adanya kematian ikan massal. Berdasarkan konsentrasi fosfat, gejala eutrofikasi dapat diidentifikasi, seperti pada Tabel 4.10

Tabel 4.10 Gejala Eutrofikasi Berdasarkan Konsentrasi Fosfat

Konsentrasi (mg/L)	Indikasi
0,01 – 0,03	Perairan belum terkontaminasi
0,025 – 0,1	Pertumbuhan tumbuhan akuatik mulai terstimulasi
0,1	Konsentrasi maksimum yang dapat diterima perairan untuk mencegah percepatan eutrofikasi
>0,1	Pertumbuhan tumbuhan akuatik lebih cepat dan eutrofikasi mulai terjadi

Sumber: Oram (Tanpa Tahun)

Berdasarkan Tabel 4.10, maka pertumbuhan tumbuhan akuatik termasuk didalamnya fitoplankton dan alga pada perairan estuari Wonorejo mulai terstimulasi. Dengan hasil simulasi yang menunjukkan konsentrasi fosfat terus meningkat dan mendekati 0,1 mg/L maka kondisi ini merupakan peringatan bagi perairan estuari Wonorejo akan munculnya tumbuhan akuatik dalam jumlah tinggi di perairan tersebut.

4.4.4 Pengaruh Fenol terhadap Ekosistem Perairan Estuari Wonorejo

Fenol merupakan bahan pencemar yang muncul dalam lingkungan laut dan umumnya berasal dari industri minyak bumi dan gas baik tumpahan minyak maupun limbah minyak yang dibuang secara langsung di perairan, pabrik sintetik, pemurnian minyak bumi, industri tekstil, industri kimia, dan industri pengolahan dan pengawetan kayu. Fenol dalam jumlah tertentu sangat berguna sebagai antiseptik, karena itu fenol juga seringkali ditemukan dalam limbah farmasi. Namun, dalam jumlah yang berlebih fenol menjadi berbahaya, bersifat korosif dan bahkan mampu merusak jaringan (Water, Air and Climate Change Branch, 2002).

Senyawa fenol dapat didegradasi oleh mikroorganisme pengurai fenol. Namun jumlah dan kemampuan mikroorganisme pengurai fenol sangat terbatas

karena sifat toksiknya. Sifat toksik inilah yang membahayakan biota laut (Dewilda dkk, 2012).

Baku mutu fenol untuk biota laut sesuai dengan Kepmen LH No. 51 Tahun 2004 adalah 0,002 mg/L, yang berarti biota laut masih dapat hidup dengan baik selama konsentrasi fenol di perairan tidak lebih dari 0,002 mg/L. Namun, konsentrasi fenol dari hasil simulasi menunjukkan semua area di wilayah perairan estuari Wonorejo telah melewati batas baku mutu tersebut. Konsentrasi rata-rata fenol di perairan estuari Wonorejo mencapai 0,05 mg/L pada akhir simulasi, dengan konsentrasi tertinggi di laut mencapai 0,097 mg/L.

Menurut Nahla (2009), umumnya, ikan lebih mampu untuk melakukan metabolisme dan ekskresi terhadap fenol daripada biota jenis crustacea seperti udang dan kepiting. Crustacea justru mengakumulasi sedikit konsentrasi fenol di dalam jaringan lunak mereka. Hal ini sejalan dengan hasil panen yang didapatkan oleh petani tambak di daerah Wonorejo. Sumber air tambak yang berasal dari perairan estuari Wonorejo sendiri menyebabkan kontaminan dalam perairan tersebut ikut masuk ke dalam tambak, salah satunya adalah fenol.

Dari hasil wawancara kepada Pak Ratno, yang merupakan salah satu petani tambak di Wonorejo dan juga ketua komunitas nelayan dan petani tambak Trunojoyo diketahui bahwa selain hasil tangkap nelayan yang selama ini menurun, hasil panen biota budidaya tambak juga ikut menurun. Biota yang dibudidaya adalah bandeng dan udang windu. Dibandingkan udang windu, bandeng lebih tahan terhadap kualitas air di perairan tambak tersebut meski hingga saat ini hasil panennya terus menurun. Pada tahun 2013, hasil panen bandeng di Surabaya adalah 4760,71 ton dan turun menjadi 4618,73. Dan untuk udang windu, pada tahun 2013 hasil panen di Surabaya mencapai 290,17 ton menjadi 242,4 ton pada tahun 2014. Tidak hanya pertumbuhan yang lambat, kematian sebelum dilakukan panen juga seringkali terjadi pada udang windu yang hidup di tambak Wonorejo. Hal ini diperkuat dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Rachmawati, dkk. (2003) tentang pengaruh fenol terhadap udang windu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fenol mempengaruhi osmolaritas hemolimfe udang. Kerja osmotik udang menjadi semakin tinggi sehingga semakin

banyak energi yang terbuang untuk adaptasi fisiologisnya, hingga akhirnya menghambat pertumbuhan karena kurangnya energi untuk pertumbuhan.

Spesies lain yang cukup terpengaruh dengan keberadaan fenol ini adalah kepiting bakau (*Scylla serata*). Pada tahun 2013, hasil tangkap kepiting di Surabaya mencapai 200,93 ton, namun pada tahun 2014 turun menjadi 196,91 ton. Dan semakin menurun pada tahun 2015 menjadi 184,69 ton. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Sari, dkk. (2014) dengan pemberian fenol sebesar 26 mg/L selama 96 jam kepada kepiting bakau, diketahui terdapat beberapa gangguan yang akhirnya terjadi. Kepiting bakau yang telah terkontaminasi fenol akan mengalami kerusakan epitel pada lamella insangnya. Dengan rusaknya jaringan insang, kemudian konsumsi oksigen berkurang dan fungsi osmoregulasinya menjadi terganggu. Sehingga keadaan patologis insang yang semakin parah ini berakibat adanya gangguan pernapasan hingga akhirnya menyebabkan kematian dari kepiting bakau.

Tidak hanya udang windu dan kepiting bakau yang terdampak fenol. Seringkali terjadi pula kematian massal (*lethal mass*) kerang di perairan estuari Wonorejo, yang diperkirakan juga karena fenol. Menurut Fries, dkk. (1976), terdapat efek fenol terhadap kerang, terutama pada sel epitel kerang. Pada kerang yang terkontaminasi fenol sebesar 1 ppm atau 1 mg/L, terlihat adanya pengelupasan pada epitelnya hingga beberapa bagiannya terpotong dari tubuh kerang. Meski jaringan-jaringan lain dalam tubuh kerang seperti otot dan kelenjar gonad, namun fenol justru berdampak pada jaringan epitel pada saluran pencernaannya dan insang. Sama halnya dengan kepiting bakau, apabila insang terganggu maka kemungkinan adanya gangguan pernapasan terjadi hingga berujung pada kematian dari kerang tersebut.



Gambar 4.42 Tumpukan Cangkang Kerang Mati di Muara Sungai Wonorejo (Foto Pribadi, 2016)

Fenol sendiri memiliki tingkat bioakumulasi yang cukup tinggi sepanjang rantai makanan sehingga pencemaran fenol tidak berakhir pada lingkungan alam saja namun juga akan berdampak pada kesehatan manusia. Menurut Sari, dkk. (2014), fenol dan turunannya termasuk polutan yang berpotensi sebagai *Endocrine Disrupting Chemical* (EDC) dan juga termasuk dalam daftar polutan prioritas *Environmental Protection Agency* (EPA) karena kehadirannya pada hewan air dan daerah terrestrial. Hadirnya fenol yang melebihi batas baku mutu ke dalam ekosistem perairan dapat menjadi *stressor* kimia bagi organisme akuatik. Secara umum, fenol menyebabkan adanya gangguan pada system endokrin, terutama pada ikan, berkurangnya kesuburan pada sistem reproduksi, melambatnya pertumbuhan, hingga adanya perkembangan yang abnormal pada biota laut yang terkontaminasi fenol (US EPA, 2000).

4.5 Strategi Pengelolaan Sungai dan Pesisir di Muara Kali Wonorejo berdasarkan Kualitas Air

Berdasarkan hasil uji dan hasil simulasi pemodelan kualitas air, diketahui bahwa terdapat pencemaran di perairan estuari Wonorejo yang menyebabkan turunnya kualitas air di wilayah tersebut. Sumber pencemar dari parameter fosfat adalah limbah domestik dan sebagian besar limbah tambak yang ada di hampir sepanjang sungai Wonorejo. Sedangkan sumber pencemar dari parameter fenol berasal dari tumpahan minyak maupun *produced water* yang berasal dari selat Madura. Untuk mengatasi masalah tersebut perlu adanya strategi pengelolaan baik di sungai maupun di pesisir perairan estuari Wonorejo dan sekitarnya dengan melibatkan masyarakat, *stakeholders*, dan para pengembang. Dalam sub bab ini, strategi pengelolaan akan dibagi menjadi dua bagian, yaitu strategi pengelolaan sungai dan strategi pengelolaan pesisir.

4.5.1 Strategi Pengelolaan Sungai Wonorejo

Masalah terberat yang ada di sungai Wonorejo adalah adanya sumber pencemar berupa limbah domestik dan limbah pembuangan air tambak. Kurangnya pemahaman dan kepedulian masyarakat dalam mengelola dan menjaga lingkungan menjadi ancaman terbesar. Strategi pengelolaan berbasis “curang” juga seringkali diterapkan di wilayah tersebut. Menurut Mukhtasar (2007), strategi “curang” yang menyebabkan salah satu dari kelompok akan memperoleh hasil yang lebih banyak, namun menimbulkan kerugian pada kelompok lainnya. Dalam jangka waktu tertentu, strategi ini menyebabkan adanya eksploitasi berlebihan dan tak satupun kelompok yang akhirnya memperoleh manfaat. Hal tersebut serupa dengan munculnya pemukiman-pemukiman baru di area mangrove Wonorejo dengan cara mengikis ekosistem mangrove di daerah tersebut meskipun daerah tersebut merupakan zona lindung. Area di sekitar sungai Wonorejo sendiri memiliki potensi yang cukup besar selain sebagai tambak dan boezem. Wonorejo juga memiliki potensi kekayaan alam yang cukup baik dari biota hingga berbagai jenis mangrove, sehingga area ini dapat digunakan sebagai alur pelayaran wisata di sepanjang sungai Wonorejo dari wilayah dengan banyak gedung pencakar langit hingga masuk wilayah konservasi. Kekayaan biota laut

juga dapat meningkat di sepanjang sungai Wonorejo apabila perbaikan kualitas air dilakukan. Untuk mewujudkan hal tersebut diperlukan adanya beberapa pengelolaan, yaitu:

1. Pelaksanaan Perda Kota Surabaya No.2 Tahun 2004 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Selama ini, Perda tersebut hanya ditetapkan tanpa adanya pelaksanaan yang maksimal meski pemantauan kualitas air telah dilakukan secara berkala oleh BLH.
2. Sosialisasi kepada masyarakat tentang penanganan limbah secara benar termasuk penerapan PROKASIH (Program Kali Bersih) bersama, baik masyarakat maupun para *stakeholders*, dan para pengembang.
3. Pengkajian ulang penetapan kawasan Pamurbaya sebagai kawasan lindung/konservasi dalam Perda Kota Surabaya No.3 Tahun 2007 tentang RTRW Kota Surabaya karena masih adanya pembangunan pemukiman baru yang berada di dalam wilayah konservasi tersebut.
4. Pembentukan petugas patroli kebersihan di sepanjang sungai yang terdiri dari petugas Dinas Kebersihan hingga masyarakat setempat.
5. Penerapan tambak *silvofishery* untuk mengurangi beban pencemaran di wilayah Wonorejo.
6. Adanya sistem pengolahan limbah terpadu khusus untuk limbah domestik dan *effluent* tambak, seperti yang telah dilakukan oleh IPAL PT Sier untuk mengolah limbah industri-industri di Rungkut.
7. Pengelolaan jaringan tata air tambak.
8. Optimalisasi peran Pemerintah Daerah dalam perbaikan kualitas air (Dirjen Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan, 2016).

4.5.2 Strategi Pengelolaan Pesisir di Perairan Estuari Wonorejo

Pesisir merupakan wilayah yang berhubungan langsung dengan laut. Perairan wilayah pesisir umumnya merupakan perangkap zat-zat hara maupun bahan-bahan buangan yang terbawa aliran air sungai hingga akhirnya mencapai perairan wilayah pesisir. Berdasarkan sumbernya, kerusakan lingkungan ada yang terjadi dari luar wilayah pesisir dan juga dari dalam wilayah pesisir (BLH Surabaya, 2010). Kontaminasi terbanyak yang terjadi di laut pada perairan estuari

Wonorejo adalah kontaminasi fenol. Oleh karena itu, kerusakan lingkungan yang terjadi di perairan pesisir estuari Wonorejo ini berasal dari luar wilayah pesisir. Selain itu, kondisi mangrove di wilayah pesisir Wonorejo saat ini juga banyak yang rusak. Sedangkan mangrove memiliki banyak manfaat terutama bagi ekosistem perairan estuari Wonorejo. Mangrove merupakan habitat bagi sebagian besar biota laut serta menjadi tempat pemijahan. Keberadaan mangrove juga dapat meningkatkan kualitas air. Mangrove mampu menyerap logam berat dan pestisida yang mencemari laut, selain itu mangrove juga memiliki fungsi utama menjadi pelindung pantai (Mukhtasor, 2007). Sehingga mangrove yang rusak ini tidak dapat membantu dalam memperbaiki kualitas air yang buruk di perairan estuari Wonorejo.

Bahan buangan yang beracun seharusnya perlu diberi perlakuan terlebih dahulu sebelum dibuang ke perairan sehingga dampaknya terhadap lingkungan dapat teratasi. Namun, karena sumber pencemar ini berasal dari luar pesisir maka perlu diupayakan strategi pengelolaan yang berbeda, terutama karena fungsi dari estuari Wonorejo juga sebagai tempat wisata dan kawasan lindung.



Gambar 4.43 Kerusakan Mangrove di Muara Sungai Wonorejo (Foto Pribadi, 2015)

Adapun strategi pengelolaan yang dapat dilakukan untuk pesisir di perairan estuari Wonorejo adalah sebagai berikut:

1. Pembentukan tim monitoring dan pengendalian yang juga melibatkan masyarakat. Monitoring juga harus dilakukan kepada wisatawan yang umumnya masuk dan berhenti di dermaga II ekowisata Wonorejo yang berada di muara sungai.
2. Adanya berbagai kegiatan pemberdayaan masyarakat dalam pelestarian kawasan lindung ini.
3. Penelitian yang bersifat berkala dan berkelanjutan tidak hanya pada kualitas air namun juga dampaknya terhadap ekosistem di perairan pesisir.
4. Pencegahan terhadap terjadinya tumpahan minyak melalui program pemantauan dan evaluasi.
5. Inventarisasi, identifikasi, dan pemetaan sumber daya alam termasuk biota laut secara berkala untuk mengetahui ada tidaknya perubahan ekosistem di perairan estuari Wonorejo.
6. Penetapan ketentuan-ketentuan yang mengatur segala kegiatan pemanfaatan sumber daya alam dan pemberian sanksi hukum yang tegas bagi pelanggar serta bagi pembawa sumber pencemar (Dahuri, dkk., 1996).
7. Mengembangkan sistem penanggulangan darurat, terutama untuk menanggulangi terjadinya tumpahan minyak.
8. Pemantauan pelaksanaan seluruh kegiatan yang berpotensi mencemari wilayah perairan estuari Wonorejo, terutama yang dapat menghasilkan polutan beracun seperti fenol.
9. Pemanfaatan teknologi tepat guna dalam pengelolaan limbah untuk mengurangi terjadinya pencemaran (Mukhtasor, 2007).

Rincian strategi pengelolaan baik di sungai maupun pesisir perairan estuari Wonorejo dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Matriks Strategi Pengelolaan Wilayah Sungai dan Pesisir Perairan Estuari Wonorejo

No.	Strategi	Tujuan	Indikator	Pelaksana
Strategi Pengelolaan Sungai				
1.	Pelaksanaan Perda Kota Surabaya No.2 Tahun 2004 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air	Memelihara kondisi kualitas air di Wonorejo hingga dapat menjaminnnya selalu sesuai dengan baku mutu	<ul style="list-style-type: none"> - Pemantauan kualitas air secara berkala dan berkelanjutan - Melakukan upaya pengendalian pencemaran - Inventarisasi dan identifikasi sumber pencemar 	Pemerintah
2.	Sosialisasi kepada masyarakat tentang penanganan limbah	Meningkatkan pemahaman masyarakat akan dampak limbah terhadap lingkungan	<ul style="list-style-type: none"> - Pengadaan acara <i>workshop</i> - Pelatihan penanganan limbah 	Pemerintah, Pengembang, Peneliti dan Akademisi
3.	Pengkajian ulang penetapan kawasan Pamurbaya sebagai kawasan lindung/konservasi dalam Perda Kota Surabaya No. 3 Tahun 2007 tentang RTRW Kota Surabaya	Menegaskan wilayah Wonorejo merupakan kawasan lindung	<ul style="list-style-type: none"> - Penetapan status hukum pembangunan di dalam kawasan lindung Mangrove 	Pemerintah
4.	Pembentukan petugas patroli kebersihan di sepanjang sungai	Meningkatkan kebersihan dan kualitas air	<ul style="list-style-type: none"> - Pembentukan petugas patroli kebersihan dari dinas kebersihan - Penentuan wakil masyarakat di tiap daerah untuk melaksanakan patroli 	Pemerintah dan masyarakat

No.	Strategi	Tujuan	Indikator	Pelaksana
5.	Penerapan tambak <i>silvofishery</i>	Mengurangi dampak pencemaran di tambak	<ul style="list-style-type: none"> - Pengenalan tambak <i>silvofishery</i> kepada petani tambak - Pembuatan tambak <i>silvofishery</i> 	Pemerintah dan masyarakat
6.	Adanya sistem pengolahan limbah terpadu	Mengurangi pencemaran di sungai	<ul style="list-style-type: none"> - Pembuatan saluran pembuangan - Pembuatan IPAL di setiap rumah warga - Pembentukan unit pengolahan limbah baik domestik maupun tambak 	Pemerintah dan masyarakat
7.	Pengelolaan jaringan tata air tambak	Meningkatkan kualitas air di tambak maupun perairan Wonorejo	<ul style="list-style-type: none"> - Pengembangan dan rehabilitasi jaringan tata saluran tambak - Pengembangan dan rehabilitasi irigasi pasang surut 	Pemerintah didukung oleh masyarakat
8.	Optimalisasi peran Pemerintah Daerah dalam perbaikan kualitas air	Meningkatkan kualitas air perairan Wonorejo	<ul style="list-style-type: none"> - Penambahan IPAL terpadu di wilayah sepanjang sungai - Penataan rumah-rumah tepi sungai dengan menghadap ke arah sungai - Pengawasan pembuangan limbah domestik oleh warga 	Pemerintah didukung oleh masyarakat
Strategi Pengelolaan Pesisir				
1.	Pembentukan tim monitoring dan pengendalian yang juga melibatkan masyarakat.	Menjaga kondisi kualitas air tetap baik	<ul style="list-style-type: none"> - Pengukuran kualitas air secara berkala dan berkelanjutan 	Pemerintah dan masyarakat

No.	Strategi	Tujuan	Indikator	Pelaksana
			<ul style="list-style-type: none"> - Pengawasan aktivitas pengunjung ekowisata - Pemberian peringatan apabila kualitas air turun - Penentuan jenis dan jumlah maksimal limbah yang boleh masuk ke perairan estuari Wonorejo - Melaksanakan monitoring dan evaluasi secara berkala untuk setiap program 	
2.	Pelaksanaan kegiatan pemberdayaan masyarakat dalam pelestarian kawasan lindung	Agar masyarakat dapat memanfaatkan kawasan lindung dengan benar dan berkelanjutan	<ul style="list-style-type: none"> - Pelatihan dan <i>workshop</i> tentang pengelolaan kawasan lindung - Pengajaran tentang pemanfaatan kawasan lindung yang berkelanjutan kepada masyarakat 	Pemerintah, akademisi dan masyarakat
3.	Penelitian yang bersifat berkala dan berkelanjutan	Mengetahui setiap perubahan kualitas air dan ekosistem	<ul style="list-style-type: none"> - Pelaksanaan penelitian kualitas air yang lebih mendalam dengan parameter yang berbeda-beda setiap tahun. 	Peneliti dan Akademisi

No.	Strategi	Tujuan	Indikator	Pelaksana
			<ul style="list-style-type: none"> - Pelaksanaan penelitian dampak penurunan kualitas air terhadap ekosistem - Penelitian mendalam untuk menentukan sumber pencemar yang berasal dari luar wilayah pesisir 	
4.	Pencegahan terhadap terjadinya tumpahan minyak	Mengetahui adanya tumpahan minyak sejak dini dan mencegahnya menyebar lebih luas	<ul style="list-style-type: none"> - Pelaksanaan program pemantauan dan evaluasi terhadap tumpahan minyak 	Pemerintah, Peneliti, dan Akademisi
5.	Inventarisasi, identifikasi, dan pemetaan sumber daya alam termasuk biota laut secara berkala	Mengetahui ada tidaknya perubahan ekosistem di perairan estuari Wonorejo	<ul style="list-style-type: none"> - Pelaksanaan inventarisasi biota laut secara berkelanjutan - Identifikasi jumlah dan jenis biota penyusun ekosistem Wonorejo 	Pemerintah, Peneliti, dan Akademisi
6.	Penetapan ketentuan-ketentuan yang mengatur segala kegiatan pemanfaatan sumber daya alam	Mencegah eksploitasi berlebih dan perusakan ekosistem	<ul style="list-style-type: none"> - Penetapan ketentuan - Pelaksanaan ketentuan - Pemberian sanksi hukum tegas bagi pelanggar ketentuan pemanfaatan sumber daya alam 	Pemerintah

No.	Strategi	Tujuan	Indikator	Pelaksana
7.	Mengembangkan sistem penanggulangan darurat	Mencegah adanya pencemaran tumpahan minyak yang lebih besar	<ul style="list-style-type: none"> - Membuat baku mutu untuk tumpahan minyak - Menyiapkan segala jenis penanggulangan darurat terutama pada <i>oil spill</i> 	Pemerintah
8.	Pemantauan pelaksanaan seluruh kegiatan	Memastikan tidak ada kegiatan yang dapat merugikan ekosistem	<ul style="list-style-type: none"> - Pemantauan pelaksanaan seluruh kegiatan yang berpotensi mencemari lingkungan 	Pemerintah
9.	Pemanfaatan teknologi tepat guna	Mendapat solusi penanganan pencemaran laut dengan baik	<ul style="list-style-type: none"> - Penggunaan teknologi dalam penelitian, monitoring, dan evaluasi yang dilaksanakan di estuari Wonorejo 	Seluruh instansi

Sumber: Data diolah, 2016

(halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN 1
BAKU MUTU AIR LAUT UNTUK BIOTA LAUT

(halaman ini sengaja dikosongkan)

Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup

Nomor : 51 Tahun 2004

Tanggal : 8 April 2004

BAKU MUTU AIR LAUT UNTUK BIOTA LAUT

No.	Parameter	Satuan	Baku mutu
FISIKA			
1.	Kecerahan ^a	m	coral: >5 mangrove: - lamun: >3
2.	Kebauan	-	alami ³
3.	Kekeruhan ^a	NTU	<5
4.	Padatan tersuspensi total ^b	mg/l	coral: 20 mangrove: 80 lamun: 20
5.	Sampah	-	nihil ^{1(d)}
6.	Suhu ^c	°C	alami ^{3(c)} coral: 28-30 ^(c) mangrove: 28-32 ^(c) lamun: 28-30 ^(c)
7.	Lapisan minyak ⁵	-	nihil ¹⁽⁵⁾
KIMIA			
1.	pH ^d	-	7 - 8,5 ^(d)
2.	Salinitas ^e	‰	alami ^{3(e)} coral: 33-34 ^(e) mangrove: s/d 34 ^(e) lamun: 33-34 ^(e)
3.	Oksigen terlarut (DO)	mg/l	>5
4.	BOD5	mg/l	20
5.	Ammonia total (NH ₃ -N)	mg/l	0,3
6.	Fosfat (PO ₄ -P)	mg/l	0,015
7.	Nitrat (NO ₃ -N)	mg/l	0,008
8.	Sianida (CN ⁻)	mg/l	0,5
9.	Sulfida (H ₂ S)	mg/l	0,01
10.	PAH (Poliaromatik hidrokarbon)	mg/l	0,003
11.	Senyawa Fenol total	mg/l	0,002
12.	PCB total (poliklor bifenil)	µg/l	0,01
13.	Surfaktan (deterjen)	mg/l MBAS	1
14.	Minyak & lemak	mg/l	1
15.	Pestisida ^f	µg/l	0,01
16.	TBT (tributil tin) ⁷	µg/l	0,01
Logam terlarut:			
17.	Raksa (Hg)	mg/l	0,001
18.	Kromium heksavalen (Cr(VI))	mg/l	0,005
19.	Arsen (As)	mg/l	0,012

No.	Parameter	Satuan	Baku mutu
20.	Kadmium (Cd)	mg/l	0,001
21.	Tembaga (Cu)	mg/l	0,008
22.	Timbal (Pb)	mg/l	0,008
23.	Seng (Zn)	mg/l	0,05
24.	Nikel (Ni)	mg/l	0,05
BIOLOGI			
1.	Coliform (total) ^a	MPN/100 ml	1000 ^(a)
2.	Patogen	sel/100 ml	nihil ^f
3.	Plankton	sel/100 ml	tidak bloom ^g
RADIO NUKLIDA			
1.	Komposisi yang tidak diketahui	Bq/l	4

Catatan:

1. Nihil adalah tidak terdeteksi dengan batas deteksi alat yang digunakan (sesuai dengan metode yang digunakan)
2. Metode analisa mengacu pada metode analisa untuk air laut yang telah ada, baik internasional maupun nasional.
3. Alami adalah kondisi normal suatu lingkungan, bervariasi setiap saat (siang, malam dan musim).
4. Pengamatan oleh manusia (*visual*).
5. Pengamatan oleh manusia (*visual*). Lapisan minyak yang diacu adalah lapisan tipis (*thin layer*) dengan ketebalan 0,01mm
6. Tidak *bloom* adalah tidak terjadi pertumbuhan yang berlebihan yang dapat menyebabkan eutrofikasi. Pertumbuhan plankton yang berlebihan dipengaruhi oleh nutrien, cahaya, suhu, kecepatan arus, dan kestabilan plankton itu sendiri.
7. TBT adalah zat *antifouling* yang biasanya terdapat pada cat kapal
 - a. Diperbolehkan terjadi perubahan sampai dengan <10% kedalaman *euphotic*
 - b. Diperbolehkan terjadi perubahan sampai dengan <10% konsentrasi rata2 musiman
 - c. Diperbolehkan terjadi perubahan sampai dengan <2oC dari suhu alami
 - d. Diperbolehkan terjadi perubahan sampai dengan <0,2 satuan pH
 - e. Diperbolehkan terjadi perubahan sampai dengan <5% salinitas rata-rata musiman
 - f. Berbagai jenis pestisida seperti: DDT, Endrin, Endosulfan dan Heptachlor
 - g. Diperbolehkan terjadi perubahan sampai dengan <10% konsentrasi rata-rata musiman]

Menteri Negara
Lingkungan Hidup,
ttd

Nabiel Makarim, MPA., MSM.

Salinan sesuai dengan aslinya
Deputi MENLH Bidang Kebijakan dan
Kelembagaan Lingkungan Hidup,

ttd

Hoetomo, MPA.

LAMPIRAN 2
DOKUMENTASI PENELITIAN

(halaman ini sengaja dikosongkan)



Gambar 1. (a) Wawancara dengan Ratno, ketua Kelompok Tani Tambak Trunojoyo, (b) wawancara dengan beberapa nelayan Wonorejo



Gambar 2. (a) Petani tambak menunjukkan letak pintu air tambak, (b) Air yang keluar dari tambak menuju muara Wonorejo ketika surut dan masuk ke tambak dari muara ketika pasang



Gambar 3. Pengukuran bathimetri di muara sungai Wonorejo



Gambar 4. Persiapan pemasangan ADCP



Gambar 5. (a) Pemasangan mistar pasut, (b) Pengamatan pasut untuk pengukuran bathimetri



Gambar 6. Pencatatan letak pengambilan sampel dari GPS



Gambar 7. Sebagian sampel air dan pengikat oksigen dalam *styrofoam box*



Gambar 8. (a) Pengambilan sampel air, (b) Perlakuan sampel DO sebelum dimasukkan ke laboratorium

LAMPIRAN 3
KONSENTRASI PARAMETER KUALITAS AIR
(HASIL PENGUKURAN LAPANGAN)

(halaman ini sengaja dikosongkan)

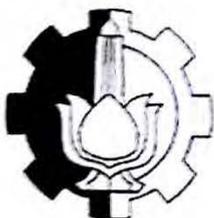
Lampiran 3.A

**KONSENTRASI PARAMETER KUALITAS AIR
(Hasil Pengukuran Lapangan)**

Sampel No.	Posisi		Waktu (WIB)	Parameter (mg/l)			
	South	East		DO	BOD	Pospat	Fenol
1	07°18.436'	112°49.397'	14.07	5,4	5	0,054	0,021
2	07°18.447'	112°49.618'	14.29	6,2	2	0,17	0,017
3	07°18.614'	112°50.350'	9.14	5,6	7	0,185	0,006
4	07°18.306'	112°50.651'	9.44	5,8	5	0,191	0,004
5	07°18.153'	112°50.785'	10.08	5,6	8	0,123	0,056
6	07°18.031'	112°51.787'	10.51	5,4	8	0,028	0,086
7	07°17.649	112°51.454'	11.10	5,7	5	0,025	0,065
8	07°17.285'	112°51.299'	11.35	5	10	0,024	0,078
9	07°18.508'	112°51.233'	15.25	5,1	10	0,054	0,012
10	07°18.941'	112°51.234'	15.53	5,6	7	0,011	0,023

Lampiran 3.B

SALAH SATU HASIL UJI KUALITAS AIR DI PERAIRAN ESTUARI WONOREJO



LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA
TELEPON (031)5948886, FAX. (031)5928387

DATA ANALISA AIR

Pemilik : Sdr. Rozi
Lokasi : Air Sungai Wonorejo Kode 5-a
Sampling Tanggal : 25 Agustus 2015

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu Kep.51/MENLH/2004*)	Hasil Analisa	Metode Analisa
FISIKA :					
1	Kebauan	-	-	tak berbau	Organolaptik
2	Padatan Tersuspensi	mg/L	coral 20, mangrove : 80, lamun 20	54	Gravimetri
3	Sampah	-	Nihil	nihil	Visual
4	Suhu	°C	Alami	24	Termometer
5	Lapisan minyak	-	Nihil	nihil	Visual
6	Kekeruhan	NTU	< 5	37	Turbidimetri
KIMIA :					
1	pH	-	7 - 8,5	8,20	pH meter
2	Salinitas	‰	alami, coral 33-34, mangrove : s/d 34, lamun 33-34	27,60	Salinometer
3	Amonia Total	mg/L NH ₃ -N	0,3	0,36	Spektropotometri
4	Sulfida	mg/L H ₂ S	0,01	0,00	Iodometri
5	Oksigen Terlarut (DO)	mg/L O ₂	> 5	5,70	Iodometri
6	BOD ₅ ²⁰	mg/L O ₂	20,00	5	Winkler
7	Senyawa Fenol total	mg/L	0,002	0,065	Spektropotometri
8	Surfaktan (deterjen)	mg/L LAS	1,00	0,99	Spektropotometri
9	Minyak dan Lemak	mg/L	1,00	0,00	Gravimetri
10	Pospat	mg/L PO ₄ -P	0,015	0,025	Spektropotometri
11	Sianida	mg/L CN	0,5	0,00	Spektropotometri

Surabaya, 14 September 2015
Kepala Laboratorium Kualitas Lingkungan
Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS


Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc
NIP. 195501281985032001

Catatan :
*) Untuk Biota Laut
Laporan ini dibuat untuk contoh air yang diterima laboratorium kami.

LAMPIRAN 4

**DATA HASIL PEMODELAN KUALITAS AIR
DI DAERAH SUNGAI, MUARA, DAN LAUT**

(halaman ini sengaja dikosongkan)

Lampiran 4.A***Dissolved Oxygen (DO)***

TANGGAL	JAM	Time Step ke-	SUNGAI	MUARA	LAUT	AVERAGE
23/8/2015	1:00 AM	1	5.56792	5.59214	5.58268	5.580913
24/8/2015	12:00 PM	36	5.33454	5.11739	5.47361	5.308513
26/8/2015	12:00 AM	72	5.35085	4.86568	5.399	5.205177
27/8/2015	12:00 PM	108	5.37751	4.98245	5.42976	5.26324
29/8/2015	12:00 AM	144	5.38378	5.18361	5.40646	5.324617
30/8/2015	12:00 PM	180	5.43602	5.25502	5.43606	5.3757
1/9/2015	12:00 AM	216	5.47453	5.27761	5.35401	5.368717
2/9/2015	12:00 PM	252	5.5445	5.34696	5.48548	5.45898
4/9/2015	12:00 AM	288	5.5712	5.39894	5.45335	5.474497
5/9/2015	12:00 PM	324	5.55066	5.59335	5.40568	5.516563
7/9/2015	12:00 AM	360	5.50179	5.42913	5.41311	5.44801
8/9/2015	12:00 PM	396	5.50703	5.91525	5.40946	5.61058
10/9/2015	12:00 AM	432	5.52209	5.57034	5.45548	5.51597
11/9/2015	12:00 PM	468	5.5699	5.74773	5.34925	5.555627
13/9/2015	12:00 AM	504	5.57261	5.60256	5.40531	5.526827
14/9/2015	12:00 PM	540	5.62274	5.57063	5.46662	5.55333
16/9/2015	12:00 AM	576	5.62982	5.55698	5.42691	5.537903
17/9/2015	12:00 PM	612	5.6509	5.72478	5.49162	5.622433
19/9/2015	12:00 AM	648	5.59596	5.60262	5.41544	5.538007
20/9/2015	12:00 PM	684	5.55599	6.14438	5.38392	5.694763
21/9/2015	11:00 PM	719	5.51684	5.67824	5.41337	5.53615

Lampiran 4.B**Biological Oxygen Demand (BOD)**

TANGGAL	JAM	Time Step ke-	SUNGAI	MUARA	LAUT	AVERAGE
23/8/2015	1:00 AM	1	6.80347	6.95358	6.9562	6.904417
24/8/2015	12:00 PM	36	4.00408	5.57832	6.43593	5.339443
26/8/2015	12:00 AM	72	3.41586	4.85419	6.47563	4.915227
27/8/2015	12:00 PM	108	3.22974	4.23897	6.44726	4.638657
29/8/2015	12:00 AM	144	3.11284	4.91866	6.4839	4.838467
30/8/2015	12:00 PM	180	2.99715	5.04105	6.53093	4.856377
1/9/2015	12:00 AM	216	2.94182	5.23539	6.55003	4.90908
2/9/2015	12:00 PM	252	2.91591	5.09191	6.54784	4.851887
4/9/2015	12:00 AM	288	2.94955	5.00973	6.57769	4.845657
5/9/2015	12:00 PM	324	3.06287	3.67468	6.32578	4.354443
7/9/2015	12:00 AM	360	3.11707	3.78654	6.49985	4.46782
8/9/2015	12:00 PM	396	3.14081	2.82426	6.34983	4.104967
10/9/2015	12:00 AM	432	3.04378	4.19539	6.53571	4.591627
11/9/2015	12:00 PM	468	2.97646	3.70966	6.49579	4.39397
13/9/2015	12:00 AM	504	2.923	4.12169	6.50445	4.51638
14/9/2015	12:00 PM	540	2.87977	4.54064	6.50703	4.64248
16/9/2015	12:00 AM	576	2.86467	4.82016	6.54061	4.741813
17/9/2015	12:00 PM	612	2.90691	4.09919	6.55777	4.52129
19/9/2015	12:00 AM	648	2.94958	3.98583	6.54176	4.49239
20/9/2015	12:00 PM	684	3.07183	2.83251	6.28454	4.06296
21/9/2015	11:00 PM	719	3.1313	4.13167	6.44791	4.570293

Lampiran 4.C

Fosfat

TANGGAL	JAM	Time Step ke-	SUNGAI	MUARA	LAUT	AVERAGE
23/8/2015	1:00 AM	1	0.015708	0.013161	0.012912	0.013927
24/8/2015	12:00 PM	36	0.079202	0.075538	0.025037	0.059926
26/8/2015	12:00 AM	72	0.090918	0.104205	0.02335	0.072824
27/8/2015	12:00 PM	108	0.09605	0.131259	0.024574	0.083961
29/8/2015	12:00 AM	144	0.100629	0.101605	0.022997	0.075077
30/8/2015	12:00 PM	180	0.105537	0.096702	0.020959	0.074399
1/9/2015	12:00 AM	216	0.106836	0.088841	0.020138	0.071938
2/9/2015	12:00 PM	252	0.106749	0.093346	0.020193	0.073429
4/9/2015	12:00 AM	288	0.103972	0.09352	0.018938	0.072143
5/9/2015	12:00 PM	324	0.097759	0.150555	0.029792	0.092702
7/9/2015	12:00 AM	360	0.094766	0.146458	0.022314	0.087846
8/9/2015	12:00 PM	396	0.093483	0.173611	0.028765	0.09862
10/9/2015	12:00 AM	432	0.097523	0.120715	0.020769	0.079669
11/9/2015	12:00 PM	468	0.100273	0.137428	0.022472	0.086724
13/9/2015	12:00 AM	504	0.102403	0.122332	0.02211	0.082282
14/9/2015	12:00 PM	540	0.104083	0.105903	0.02198	0.077322
16/9/2015	12:00 AM	576	0.104608	0.098852	0.020552	0.074671
17/9/2015	12:00 PM	612	0.102742	0.123737	0.019754	0.082078
19/9/2015	12:00 AM	648	0.100952	0.128199	0.020507	0.083219
20/9/2015	12:00 PM	684	0.095892	0.169807	0.031574	0.099091
21/9/2015	11:00 PM	719	0.093513	0.122453	0.024563	0.080176

Lampiran 4.D

Fenol

TANGGAL	JAM	Time Step ke-	SUNGAI	MUARA	LAUT	AVERAGE
23/8/2015	1:00 AM	1	0.022433	0.022554	0.022615	0.022534
24/8/2015	12:00 PM	36	0.007645	0.009613	0.096921	0.03806
26/8/2015	12:00 AM	72	-0.00021	0.030125	0.097299	0.042403
27/8/2015	12:00 PM	108	-0.00017	0.031416	0.097029	0.042757
29/8/2015	12:00 AM	144	-0.00014	0.035315	0.097362	0.044179
30/8/2015	12:00 PM	180	-0.00012	0.035318	0.097824	0.044342
1/9/2015	12:00 AM	216	-9.81E-05	0.026488	0.098004	0.041465
2/9/2015	12:00 PM	252	-8.54E-05	0.032543	0.097985	0.043481
4/9/2015	12:00 AM	288	-7.67E-05	0.048311	0.098268	0.048834
5/9/2015	12:00 PM	324	-7.18E-05	0.024344	0.095875	0.040049
7/9/2015	12:00 AM	360	-6.87E-05	0.022711	0.097529	0.040057
8/9/2015	12:00 PM	396	-6.31E-05	0.016214	0.096103	0.037418
10/9/2015	12:00 AM	432	-5.99E-05	0.038641	0.097869	0.045484
11/9/2015	12:00 PM	468	-5.70E-05	0.041087	0.09749	0.046173
13/9/2015	12:00 AM	504	-5.63E-05	0.043804	0.097572	0.047107
14/9/2015	12:00 PM	540	-5.53E-05	0.050907	0.097596	0.049483
16/9/2015	12:00 AM	576	-5.51E-05	0.024661	0.097915	0.04084
17/9/2015	12:00 PM	612	-5.69E-05	0.039697	0.098079	0.045906
19/9/2015	12:00 AM	648	-5.66E-05	0.051377	0.097927	0.049749
20/9/2015	12:00 PM	684	-5.91E-05	0.03196	0.095483	0.042461
21/9/2015	11:00 PM	719	-6.06E-05	0.041011	0.09703	0.045994

LAMPIRAN 5
SURAT IJIN PENGGUNAAN LISENSI MIKE
OLEH BALITBANG KP – KKP

(halaman ini sengaja dikosongkan)



KEMENTERIAN KELAUTAN DAN PERIKANAN
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN KELAUTAN DAN PERIKANAN

KOMPLEK BINA SAMUDERA, JALAN PASIR PUTIH I ANCOL TIMUR JAKARTA 14430
TELEPON (021) 64711583, EXT : 4404 FAKSIMILE (021) 64711501

LAMAN www.litbang.kkp.go.id POS ELEKTRONIK set_balitbangkp@kkp.go.id

Nomor : 219 /BALITBANG KP.0/LB. 301/2016
Sifat : Segera
Hal : Ijin Penggunaan Lisensi

26 Januari 2016

Yth. Kepala Program Pascasarjana Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
di Surabaya

Sehubungan dengan adanya surat permintaan Saudara nomor 006/IT2.4.5/PP.05.02/2016 tanggal 11 Januari 2016 perihal Ijin Penggunaan Lisensi untuk:

No	Nama	NRP	Judul
1.	Wazirotus Sakinah	4114 205 005	Pemodelan sebaran kualitas air estuari Wonorejo dan dampaknya terhadap ekosistem perairan estuari
2.	Anita Diah Pahlewi	4114 205 004	Pemodelan dinamika estuari Wonorejo Surabaya
3.	Zhelvyanie	4114 205 007	Identifikasi karakteristik delta di Surabaya
4.	Made Mustika Wijaya	4114 205 013	Formula tegangan geser dasar dan transportasi sedimentasi dasar (Bed load sediment transport) untuk pemodelan morfologi dasar laut (studi kasus: Area Kanal PLTGU Grati)

bersama ini disampaikan bahwa pada dasarnya kami tidak keberatan dengan permintaan tersebut. Adapun hal-hal yang perlu diperhatikan adalah:

1. Penggunaan software dan lisensi MIKE 21 milik P3TKP hanya dapat dilaksanakan di kantor P3TKP dengan alamat Gedung Balitbang KP 2 Lantai 5, Jl. Pasir Putih I Ancol Timur dan dibawah pengawasan peneliti P3TKP (Saudara La Ode Nurman Mbay);
2. Karya tulis ilmiah yang dihasilkan dari penggunaan software tersebut, telah mendapat ijin dari P3TKP dan mencantumkan pemilik lisensi.

Demikian disampaikan, atas perhatian dan kerjasama Saudara, disampaikan terima kasih.

Sekretaris Balitbang KP,



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan, maka terdapat beberapa kesimpulan dalam penelitian ini, diantaranya adalah:

1. Terdapat perbedaan distribusi parameter-parameter kualitas air pada saat pasang, surut, dan setelah simulasi satu bulan. Adapun distribusi tiap parameter-nya adalah sebagai berikut:
 - a. Untuk parameter DO, saat pasang memiliki konsentrasi yang lebih tinggi dengan rentang 5,26 mg/L – 5,72 mg/L dibandingkan dengan surut yang memiliki konsentrasi 5,027 mg/L – 5,65 mg/L. Setelah satu bulan, distribusi DO di muara memiliki konsentrasi yang paling tinggi dibandingkan area sungai dan laut.
 - b. Untuk parameter BOD, saat pasang memiliki konsentrasi yang umumnya lebih rendah dengan rentang 1,7 mg/L – 7 mg/L dibandingkan dengan surut terendah dengan rentang 2,2 mg/L – 6,9 mg/L. Setelah satu bulan, konsentrasi tertinggi berada di laut.
 - c. Untuk parameter fosfat, saat pasang memiliki konsentrasi yang lebih rendah dengan rentang 0,01 mg/L – 0,2 mg/L dibandingkan dengan surut yang memiliki konsentrasi 0,011 mg/L – 0,201 mg/L. Setelah satu bulan, area yang terkontaminasi fosfat menjadi lebih luas, terutama di daerah pesisir bagian utara. Konsentrasi fosfat menjadi semakin meningkat bahkan sangat jauh jika dibandingkan konsentrasinya di awal pemodelan
 - d. Untuk parameter fenol saat pasang memiliki konsentrasi yang umumnya lebih tinggi dengan rentang 7×10^{-6} mg/L – 0,1 mg/L dibandingkan dengan surut dengan rentang 1×10^{-5} mg/L – 0,099 mg/L. Setelah satu bulan, konsentrasi tertinggi berada di laut.
2. Berdasarkan distribusi parameter-parameter kualitas air yang terjadi selama simulasi satu bulan, maka dapat disimpulkan adanya pengaruh terhadap biota laut yang hidup di perairan estuari Wonorejo, sebagai berikut:

- a. Konsentrasi DO masih cukup aman karena belum melewati batas baku mutu untuk biota laut yang telah ditetapkan oleh KEPMEN LH No. 51 Tahun 2004, namun cukup menyebabkan masa pertumbuhan udang menjadi terganggu.
 - b. Konsentrasi BOD masih belum melewati batas baku mutu untuk biota laut, yang berarti tidak cukup banyak material organik yang dapat menyebabkan aktivitas bakteri aerob meningkat.
 - c. Konsentrasi fosfat telah melewati batas baku mutu untuk biota laut sehingga perairan estuari Wonorejo dikategorikan sebagai perairan subur yang dapat menyebabkan adanya *algae blooms* dengan indikasi pertumbuhan tumbuhan akuatik disana telah mulai terstimulasi.
 - d. Konsentrasi fenol yang cukup tinggi hingga melewati batas baku mutu untuk biota laut menyebabkan kerusakan sistem pernapasan pada sebagian besar Crustacea menurut literatur dan menyebabkan kematian pada kerang.
3. Strategi pengelolaan dibagi menjadi dua jenis, yaitu strategi pengelolaan di sungai dan pesisir perairan estuari Wonorejo dengan melibatkan masyarakat, *stakeholders*, dan para pengembang.
 - a. Strategi pengelolaan di sungai meliputi pelaksanaan Perda Kota Surabaya No.2 Tahun 2004 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, sosialisasi kepada masyarakat tentang penanganan limbah secara benar, pengkajian ulang penetapan kawasan Pamurbaya sebagai kawasan lindung/konservasi, membentuk petugas patroli kebersihan di sepanjang sungai, penerapan tambak *silvofishery*, dan adanya sistem pengolahan limbah terpadu khusus, pengelolaan jaringan tata air tambak, optimalisasi peran Pemerintah Daerah dalam perbaikan kualitas air.
 - b. Strategi pengelolaan di pesisir meliputi pembentukan tim monitoring dan pengendalian, adanya berbagai kegiatan pemberdayaan masyarakat dalam pelestarian kawasan lindung, rehabilitasi mangrove yang sesuai prosedur di area muara sungai, penelitian yang bersifat berkala dan berkelanjutan, pencegahan terhadap terjadinya tumpahan minyak, inventarisasi,

identifikasi, dan pemetaan sumber daya alam termasuk biota laut secara berkala, penetapan ketentuan-ketentuan dan pemberian sanksi hukum, mengembangkan sistem penanggulangan darurat, pemantauan pelaksanaan seluruh kegiatan yang berpotensi mencemari, serta pemanfaatan teknologi tepat guna dalam pengelolaan limbah.

5.2 Saran

Peneliti menyarankan kepada:

1. Pemerintah, dalam strategi pengelolaan perlu diketahui terlebih dahulu sumber pencemar dari area tersebut dan adanya tindakan tegas bagi pelanggar aturan terutama dalam hal perusakan ekosistem karena estuari Wonorejo merupakan wilayah konservasi.
2. Masyarakat, perlu adanya inovasi-inovasi baru dalam mengembangkan mata pencaharian mereka. Seperti dikembangkannya tambak *silvofishery* dan peningkatan sarana dan prasarana yang digunakan oleh nelayan tradisional tanpa menunggu pihak Pemerintah untuk turun tangan.
3. Peneliti selanjutnya, perlu adanya pemahaman yang sangat baik terhadap pemodelan yang akan dilakukan, agar percobaan gagal tidak terlalu banyak dan tidak membutuhkan waktu yang cukup lama. Selain itu diperlukan juga penelitian lebih mendalam terhadap sumber pencemar di wilayah perairan estuari Wonorejo.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Amaliyah, S., Purnobasuki, H., Nurhidayati, T., Saptarini, D., (2012), “Pengaruh Umur Tegakan Tanaman Terhadap Adaptasi Pneumatophor *Avicennia alba* di Kawasan Wonorejo-Surabaya”, *Jurnal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, Vol. 15, No.1, hal. 11-14.
- Amri, K., Kanna, I., (2008), *Budi Daya Udang Vaname Secara Intensif, Semi Intensif, dan Tradisional*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Anonim, (2011), *Identifikasi Sumber Pencemar dan Analisis Kualitas Air Tukad Yeh Sungai*, Universitas Udayana, Bali.
- Asriyana dan Yuliana, (2012), *Produktivitas Perairan*, PT Bumi Aksara, Jakarta.
- BLH Surabaya, (2010), *Laporan Pengendalian Pencemaran Kawasan Pantai dan Pesisir 2010*, BLH Surabaya, Surabaya.
- BLH Surabaya, (2011a), *Pencemaran*, <http://lh.surabaya.go.id/web/wh/?c=main&m=pencemaran>
- BLH Surabaya (2011b), *Status Lingkungan Hidup Daerah*, BLH Surabaya, Surabaya.
- BLH Surabaya, (2013), *Profil Keanekaragaman Hayati dan Ekosistem Kota Surabaya*, BLH Surabaya, Surabaya.
- Bartram, J., Balance, R., (1996), *Water Quality Monitoring*, E&FN Spon, London.
- Budiharsono, S., (2005), *Teknik Analisis Pembangunan Wilayah Pesisir dan Lautan*, PT. Percetakan Penebar Swadaya, Jakarta.
- CERC, (1984), *Shore Protection Manual*, US Army Coastal Engineering Research Center, Washington.
- Chesapeake Bay Program, (2012), *Dissolved Oxygen*, <http://www.chesapeakebay.net/discover/bayecosystem/dissolvedoxygen>
- Dahuri, R., Rais, J., Ginting, S.P., Sitepu, M.J., (1996), *Pengelolaan Sumberdaya Wilayah Pesisir dan Lautan Secara Terpadu*, PT.Saptodadi, Jakarta.
- Department of The Environment, (1973), “The Microbial Ecology of Sewage Treatment Process”, *Water Research* Pergamon Press, Vol. 7, hal. 1043-1045.
- DetikNews, (2006), *Parameter Bahan Kimia Lumpur Porong di Bawah Baku Mutu*, <http://m.detik.com/news/berita/679483/parameter-bahan-kimia-lumpur-porong-di-bawah-baku-mutu>
- Direktorat pesisir dan lautan, (2009), *Modul Pelatihan Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil secara Terpadu*, Departemen Kelautan dan Perikanan, Jakarta.
- Dirjen Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan, (2016), *Bersama Kita Perbaiki Kualitas Air Indonesia: Optimalisasi Peran Pemerintah Daerah dalam Perbaikan Kualitas Air*, <http://ppkl.menlhk.go.id/index.php?q=172&s=c1aa04bf421e5b38c3d18933e9994d3f289def65>
- Dewilda, Y., Afrianita, R., Iman, F.F., (2012), “Degradasi Senyawa Fenol oleh Mikroorganisme Laut”, *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND*, Vol. 9, No. 1, hal. 59-73.

- DHI, (2007), *WQ Templates – Scientific Description*, DHI, Denmark.
- DHI, (2012a), *Mike 21 Flow Model:Hydrodynamic Module-Scientific Documentation*, DHI, Denmark.
- DHI, (2012b), *Mike 21 Flow Model-ECO Lab Module-User Guide*, DHI, Denmark.
- Divisi Perikanan dan Kelautan – Dinas Pertanian Surabaya, (2015), *Data Hasil Tangkap Ikan Surabaya*
- Edward, Tarigan, M.S., (2003), “Pengaruh Musim terhadap Fluktuasi Kadar Fosfat dan Nitrat di Laut Banda”, *Makara Sains*, Vol. 7, No. 2, hal. 82-89
- Edwards, D., Hamson, Mike., (1989), *Guide to Mathematical Modelling*, The Macmillan Press Ltd., London.
- Effendi, Z., (2015), *Penebangan Mangrove untuk Jembatan Perumahan Disoal*, <http://m.detik.com/news/berita-jawa-timur/3016533/penebangan-mangrove-untuk-jembatan-perumahan-disoal#>
- Fajar, Purwanto, Indriyanti, E., (2014), “Kajian Potensi Arus Laut sebagai Energi Alternatif Pembangkit Listrik di Perairan Sekitar Jembatan Suramadu Selat Madura”, *Jurnal Oseanografi*, Vol. 3, No.3 hal. 294-303.
- Fries, C., Tripp, M.R., (1976), “Effects of Phenol on Clams”, *Marine Fisheries Review*, Vol. 38, No.10, hal. 10-11.
- Ji, Z.G, (2008), *Hydrodynamics and Water Quality:Modeling Rivers, Lakes, and Estuaries*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Kannappan, T., Karthikeyan, M.M., (2013), “Diversity of Fishes in Relation to Physico-Chemical Properties of Manakudy Estuary, Southwest Cost of India”, *International Journal of Biodiversity and Conservation*, Vol. 5, No. 7, hal. 396-407.
- Kay, R., Alder, J., (2005), *Coastal Planning and Management-2nd Edition*, Taylor & Francis, Oxon.
- KEPMEN LH No. 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut
- Kordi, M.G.H., Tancung, A.B., (2007), *Pengelolaan Kualitas Air-dalam Budidaya Perairan*, Rineka Cipta, Jakarta.
- Lamb, J.C., (1985), *Water Quality and Its Control*, John Wiley&Sons, Inc., Canada.
- Mahmoud, N., (2009), *Study of Ecological Risk Assessment of PAHs and Phenols in Produced Water After Partitioning in the Water Phase*, St. John’s Newfoundland, Canada.
- Mishra, P., Panda, U.S., Pradhan, U., Kumar, C.S., Naik, S., Begum, M., Ishwarya, J., (2015), “Coastal Water Quality Monitoring and Modelling off Chennai City”, *Procedia Engineering*, Vol. 116, hal. 955-962
- Mukhtasor, (2007), *Pencemaran Pesisir dan Laut*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Namerow, N.L., (1974), *Scientific Stream Pollution Analysis*. Scripta Book Company, Washington, D.C.
- Newman, M.C., Robberts, Jr.M.H., Hale, R.C., (2002), *Coastal and Estuarine Risk Assessment*, CRC Press LLC, Florida.
- Nybakken, J. W., (1988), *Marine Biology: An Ecological Approach -2nd Edition*, Happer&Row Publisher, New York.
- Novotny, V., Olem, H., (1994), *Water Quality: Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution*, Van Nostrand Reinhold, New York.

- O'Brien, J.J, (1986), "Advanced Physical Oceanographic Numerical Modelling", *NATO ASI Series. Series C, Mathematical and Physical Sciences*, Vol. 186.
- Odum, E.P, (1993), *Dasar-Dasar Ekologi*, Gadjah Mada University Press.
- Ongkosongo, O.S.R, (2010), *Kuala, Muara Sungai dan Delta*, LIPI, Jakarta.
- Oram, B., (Tanpa Tahun), *Phosphates in the Environment*, <http://www.water-research.net/index.php/phosphates>.
- Patty, S.I., (2013), "Kadar Fosfat, Nitrat, dan Oksigen Terlarut di Perairan Pulau Talise, Sulawesi Utara", *Jurnal Ilmiah Platax*, Vol. 1, No. 4, hal. 167 – 176.
- Pawar, P.R., (2013), "Monitoring of Impact of Anthropogenic Inputs on Water Quality of Mangrove Ecosystem of Uran, Navi Mumbai, West Coast of India", *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 75, hal. 291 – 300.
- Polyseed, (Tanpa Tahun), *Biological Oxygen Demand (BOD) – Overview*, <http://www.polyseed.com/BODforwebsite.pdf>
- Rachmawati, D., Haeruddin, Redjeki, S., (2003), "Efek Fenol terhadap Tingkat Kerja Osmotik Udang Windu (*Penaeus monodon* Fab.)", *Laporan Akhir Kegiatan Dosen Muda*, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Risamasu, F.J.L., Prayitno, H.B., (2011), "Kajian Zat Hara Fosfat, Nitrit, Nitrat dan Silikat di Perairan Kepulauan Matasiri, Kalimantan Selatan", *Ilmu Kelautan*, Vol. 16, No. 3, hal. 135-142.
- Rumhayati, B., (2010), "Studi Senyawa Fosfat dalam Sedimen dan Air menggunakan Teknik *Diffusive Gradient in Thin Films* (DGT)", *Jurnal Ilmu Dasar*, Vol. 11, No. 2, hal. 160-166
- Rustam, A., Salim, H.L., Susanto, A.D., (2012), "Water Quality Distribution at Pari Island Cluster, Seribu Island", *Seminar Nasional Kedaulatan Pangan dan Energi 2012*.
- Salmin, (2005), "Oksigen Terlarut (DO) dan Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) sebagai Salah Satu Indikator untuk Menentukan Kualitas Perairan", *Oseana*, Vol. 30, No. 3, hal. 21-26
- Sari, A.H.W., Risjani, Y., Marhendra, A.P.W., (2014), "Efek Konsentrasi Sublethal Fenol terhadap *Total Haemocyte Count* (THC) dan Histologi Insang Kepiting Bakau (*Scylla serata*)", *Jurnal Exp. Life Sci*, Vol. 2, No. 2
- Simanjuntak, M., (2007), "Kadar Fosfat, Nitrat dan Silikat di Teluk Jakarta", *Jurnal Perikanan*, Vol. 9, No. 2, hal. 274-287.
- Suntoyo, Ikhwani, H., Zikra, M., Sukmasari, N.A., Angraeni, G., Tanaka, H., Umeda, M., Kure, S., (2015), "Modelling of the COD, TSS, Phosphate, and Nitrate Distribution due to the Sidoarjo Mud Flow into Parang River Estuary", *Procedia Earth and Planetary Science*, Vol. -, hal. 146-153.
- Tim Karya Tani Mandiri, (2010), *Pedoman Budidaya Kepiting*, CV. Nuansa Aulia, Bandung.
- US EPA, (2000), *Phenol – Hazard Summary*, <https://www3.epa.gov/airtoxics/hlthef/phenol.html>
- Wan, Y., Ji, Z.G., Shen, J., Hu, G., Sun, D., (2012), "Three Dimensional Water Quality Modeling of a Shallow Subtropical Estuary", *Marine Environmental Research*, Vol 82, hal. 76-86.

- Wang, M., Zhang, J., Tu, Z., Gao, X., Wang, W., (2010), "Maintenance of Estuarine Water Quality by Mangroves Occurs During Flood Periods: A Case Study of A Subtropical Mangrove Wetland", *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 60, hal. 2154-2160.
- Wardhani, M.K., Sulistiono, Siregar, V.P., (2011), "Tingkat Kerentanan Lingkungan Pesisir Selatan Kabupaten Bangkalan terhadap Potensi Tumpahan Minyak (*Oil Spill*)", *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, Vol. 3, No.1, hal. 13-19.
- Water, Air and Climate Change Branch, (2002), *Ambient Interim Water Quality, Guidelines for Phenols-Summary Report*, Ministry of Water, Land and Air Protection, Canada
- Wei, W.W.S., (2006), *Time Series Analysis: Univariate and Multivariate Methods* -2nd Edition, Pearson Education, Inc., Boston.

BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak ketiga dari empat bersaudara yang dilahirkan di Banyuwangi pada tanggal 31 Oktober 1990 dari pasangan Abdul Fatah dan Istiaroh. Pendidikan sarjana ditempuh di Jurusan Pendidikan Biologi Universitas Jember dan lulus pada tahun 2012. Pada tahun 2014, penulis berkesempatan melanjutkan pendidikan magister pada program studi Teknik dan Manajemen Pantai, program Pascasarjana Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan matrikulasi pada tahun 2013. Beasiswa pendidikan pascasarjana diperoleh dari Pra S2 Sainstek dan DIKTI.

Karya ilmiah penulis yang berjudul *Impact Identification of Estuarine Water Quality to Marine Biota: A Case Study in Wonorejo Estuary, Indonesia* telah diseminarkan pada seminar internasional ISOCEEN tahun 2015 dan akan dipublikasikan pada AMM Journal. Karya ilmiah lain yang berjudul *Modelling of Phenol Contamination in Wonorejo Estuary, Indonesia* akan diseminarkan pada seminar internasional CITIES pada Oktober 2016. Kedua karya tulis ilmiah ini merupakan bagian dari tesis penulis. Penulis juga merupakan anggota dari HAPPI (Himpunan Ahli Pengelolaan Pesisir Indonesia). Apabila ada yang ingin berdiskusi lebih lanjut terkait Tesis ini dapat menghubungi penulis melalui: wazirotus.sakinah@gmail.com