



TESIS - MO18-5401

**PEMODELAN KUALITAS AIR DAN UPAYA
PENGENDALIAN PENCEMARAN DI MUARA
WELANG, PASURUAN**

**INDRI IKA WIDYASTUTI
04311850010010**

Dosen Pembimbing
Suntoyo, ST, M.Eng., Ph.D.
Dr. Ir. Wahyudi, M.Sc

Departemen Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020



THESIS - MO18-5401

WATER QUALITY MODELLING AND WATER POLLUTION CONTROL EFFORTS IN WELANG ESTUARY, PASURUAN

INDRI IKA WIDYASTUTI
04311850010010

Supervisor
Suntoyo, ST, M.Eng., Ph.D.
Dr. Ir. Wahyudi, M.Sc

Department of Ocean Engineering
Faculty Of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

INDRI IKA WIDYASTUTI

NRP: 04311850010010

Tanggal Ujian: Desember 2019

Periode Wisuda: Maret 2020

Disetujui oleh:

Pembimbing:

1. Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP: 197107231995121001



2. Dr. Ir. Wahyudi, M.Sc.
NIP: 196012141989031001



Penguji:

1. R. Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP: 196808101995121001



2. Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc.
NIP: 197702252002121002



3. Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T.
NIP: 1990201812030



(halaman ini sengaja dikosongkan)

PEMODELAN KUALITAS AIR DAN UPAYA PENGENDALIAN PENCEMARAN DI MUARA WELANG, PASURUAN

Nama : Indri Ika Widyastuti
NRP : 04311850010010
Jurusan : Teknik Kelautan
Pembimbing : Suntoyo, ST, M.Eng., Ph.D.
Dr. Ir. Wahyudi, M.Sc

ABSTRAK

Pembuangan limbah ke Sungai Welang yang berasal dari industri penyamakan kulit dapat menyebabkan penurunan kualitas air. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas air di Muara Welang akibat pembuangan limbah industri dan menentukan upaya pengendalian pencemaran air di muara Welang. Permodelan hidrodinamika dan kualitas air menggunakan software MIKE21 dengan modul ECO Lab digunakan untuk mengetahui pola sebaran parameter kualitas yaitu DO, BOD, COD, TSS, amonia, krom, dan sulfida. Hasil pemodelan menunjukkan konsentrasi DO antara 1.16-9.10 mg/L pada saat pasang dan 2.15-8.97 mg/L saat kondisi surut. Konsentrasi BOD antara 4.27-23.52 mg/L pada saat pasang dan 4.27-21.60 mg/L saat surut. Konsentrasi COD antara 22.12-45.52 mg/L pada saat pasang dan 23.27-56.08 mg/L saat surut. Konsentrasi TSS antara 42.23-617.20 mg/L pada saat pasang dan 39.75-579.25 mg/L pada saat surut. Konsentrasi amonia antara 0.082-26.844 mg/L pada saat pasang dan 0.367-24.881 mg/L pada saat surut. Krom memiliki konsentrasi yang hampir sama saat pasang dan surut. Konsentrasi krom berkisar antara 0.023-0.036 mg/L pada saat pasang dan 0.023-0.037 mg/L saat surut. Konsentrasi sulfida antara 0.0013-0.0118 mg/L pada saat pasang dan 0.0013-0.0113 mg/L saat surut. Konsentrasi BOD dan amonia pada 4 stasiun menunjukkan nilai yang melebihi standar baku mutu berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 dan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004. Konsentrasi DO, TSS, dan sulfida di stasiun 1 dan 2 pada waktu tertentu nilainya juga melebihi baku mutu, sedangkan pada stasiun lainnya masih memenuhi baku mutu. Konsentrasi COD dan krom pada 4 stasiun menunjukkan nilai yang masih memenuhi kriteria baku mutu. Upaya yang dapat dilakukan dalam pengendalian pencemaran di Muara Welang antara lain melaksanakan pemantauan kualitas air secara rutin, meningkatkan pengelolaan limbah industri sebelum dibuang ke sungai, meningkatkan pengawasan dan pemantauan pembuangan air limbah ke sungai serta penegakan sanksi hukum maupun penghargaan kepada industri.

Kata kunci: Kualitas air, permodelan hidrodinamika, ECO Lab, pengendalian pencemaran air, Muara Welang

(halaman ini sengaja dikosongkan)

WATER QUALITY MODELLING AND WATER POLLUTION CONTROL EFFORTS IN WELANG ESTUARY, PASURUAN

Name : Indri Ika Widyastuti
Reg. Number : 04311850010010
Departement : Ocean Engineering
Supervisor : Suntoyo, ST, M.Eng, Ph.D
Dr. Ir. Wahyudi, M.Sc

ABSTRACT

Disposal of waste into the Welang river originating from the leather tanning industry can cause a decrease in water quality. This study aims to determine water quality in Welang Estuary due to industrial waste disposal and determine efforts to control water pollution in the Welang Estuary. Hydrodynamic and water quality modelling using MIKE21 software with ECO Lab module is used to determine the distribution pattern of water quality parameters, namely DO, BOD, COD, TSS, ammonia, chromium, and sulfide. Modelling results show DO concentrations between 1.16-9.10 mg/L at tide and 2.15-8.97 mg/L at ebb. BOD concentrations between 4.27-23.52 mg/L at tide and 4.27-21.60 mg/L at ebb. COD concentrations between 22.12-45.52 mg/L at tide and 23.27-56.08 mg/L at ebb. TSS concentrations between 42.23-617.20 mg/L at tide and 39.75-579.25 mg/L at ebb. Ammonia concentrations between 0.082-26.844 mg/L at tide and 0.367-24.881 mg/L at ebb. Chromium has almost the same concentration at tide and low ebb. Chromium concentrations ranged from 0.023-0.036 mg/L at tide and 0.023-0.037 mg/L at ebb. Sulfide concentrations between 0.0013-0.0118 mg/L at tide and 0.0013-0.0113 mg/L at ebb. BOD and ammonia concentrations at 4 stations show values that exceed the quality standard based on government regulations No. 82 of 2001 and Environment Ministerial Decree No. 51 of 2004. DO, TSS, and sulfide concentrations at stations 1 and 2 at a certain time the value also exceeds quality standards, while at other stations are still in a safe condition. The concentration of COD and chromium at 4 stations shows a value that still in a safe condition. Efforts that can be taken to controlling water pollution at Welang Estuary include carrying out routine water quality monitoring, improving industrial waste management before being discharged into rivers, increasing supervision and monitoring of waste water discharges into rivers and enforcing legal sanctions and rewards for the industry.

Keywords: Water quality, hydrodynamic modelling, ECO Lab, water pollution control, Welang Estuary

(halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan hidayah-Nya, sehingga Penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Pemodelan Kualitas Air dan Upaya Pengendalian Pencemaran di Muara Welang, Pasuruan”. Penyusunan tesis ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Magister Teknik Kelautan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam persiapan hingga penyelesaian penulisan tesis ini. Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku dosen pembimbing I dan Bapak Dr. Ir. Wahyudi, M.Sc. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan pengarahan, bimbingan, serta motivasi selama penulisan tesis ini.
2. Bapak R. Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D., Bapak Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc., dan Ibu Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T. sebagai penguji dalam sidang tesis dan memberikan kritik dan saran yang melengkapi tesis ini.
3. Kedua orang tua saya Bapak Indrat Triyono dan Ibu Tituk Sukaning yang telah memberikan kasih sayang, motivasi, doa, dan dukungannya.
4. Adik-adik saya, Siska Dwi Astuti, Kartika Tri Anugraini dan Desi Fourtuningrum yang selalu memberi semangat dan dukungan.
5. Mas Yosi Subiyantoro atas segala dukungan dan semangat selama penulis menempuh pendidikan.
6. UPT Dinas Pekerjaan Umum Sumber Daya Air Pasuruan, dan Dinas Pekerjaan Umum Sumber Daya Air Provinsi Jawa Timur atas perolehan data debit dan cross-section sungai.
7. Kepala Balitbang KP-KKP yang telah memberi ijin untuk menggunakan lisensi MIKE 21.
8. Kepala dan staf Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Perak Surabaya atas perolehan data angin dan data arus.

9. Laboratorium TAKI (Teknologi Air dan Konsultasi Industri) Teknik Kimia ITS dan Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan Teknik lingkungan ITS atas pengujian parameter kualitas air.
10. Pak Tomo dan kawan-kawan sebagai bapak-bapak nelayan Kraton serta Pak Soim dan keluarga sebagai nelayan Tlocor atas informasi, tenaga, dan bantuannya selama proses penelitian.
11. Pak No dan Pak Juni yang telah membantu dalam proses peminjaman dan pembuatan peralatan survey.
12. Dosen-dosen Pascasarjana Teknik Kelautan atas motivasi, doa, cerita pengalaman-pengalaman dalam menempuh pendidikan, serta tentunya ilmu yang sangat bermanfaat.
13. Staf pegawai Teknik Kelautan yang telah membantu dalam penyelesaian kelengkapan administrasi yang berkaitan dengan penulis.
14. Teman-teman Pascasarjana Teknik Kelautan 2018 dan teman-teman anggota Laboratorium Pascasarjana Teknik kelautan atas semangat, motivasi, dan doanya.
15. Berbagai pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam penyelesaian dan penyusunan tesis ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam tesis ini. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun akan sangat diharapkan untuk perbaikan selanjutnya. Semoga tesis ini dapat memberikan manfaat bagi pihak perusahaan, pemerintah, *stakeholder*, dan masyarakat luas serta menambah wawasan bagi pembaca pada umumnya, dan penulis pada khususnya.

Surabaya, 10 Januari 2020

Indri Ika Widyastuti

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	xii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kajian Pustaka	5
2.2 Sungai	6
2.2.1 Muara Sungai	8
2.2.2 Debit Sungai.....	11
2.3 Kualitas Air	11
2.4 Pencemaran Air	15
2.5 Baku Mutu Air	17
2.6 Angin	18
2.7 Arus	21
2.8 Pasang Surut	22
2.9 Strategi Pengelolaan Estuari berdasarkan Kualitas Air	25
2.10 Model Hidrodinamika	27
2.11 Model ECO Lab.....	29
BAB III METODE PENELITIAN	33
3.1 Waktu dan Lokasi	33

3.2	Alur Penelitian	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		39
4.1	Kondisi Umum Muara Sungai Welang	39
4.2	Hasil Pengukuran Kualitas Air di Muara Welang	40
4.3	Pemodelan Batimetri Muara Welang	42
4.4	Kondisi Batas Muara Welang	43
4.5	Validasi Pemodelan Hidrodinamika.....	45
4.5.1	Validasi Model Pasang Surut	45
4.5.2	Validasi Model Arus	46
4.6	Validasi Model Kualitas Air	47
4.7	Pemodelan Hidrodinamika Muara Welang	49
4.8	Pemodelan Kualitas Air Muara Welang	54
4.8.1	Hasil pemodelan dan Analisis Sebaran DO	55
4.8.2	Hasil Pemodelan dan Analisis Sebaran BOD	61
4.8.3	Hasil pemodelan dan Analisis Sebaran COD	67
4.8.4	Hasil Pemodelan dan Analisis Sebaran TSS	74
4.8.5	Hasil Pemodelan dan Analisis Sebaran Amonia	80
4.8.6	Hasil Pemodelan dan Analisis Sebaran Krom	87
4.8.7	Hasil Pemodelan dan Analisis Sebaran Sulfida	93
4.9	Penanggulangan Pencemaran di Muara Welang	99
BAB V PENUTUP		103
5.1	Kesimpulan	103
5.2	Saran	104
DAFTAR PUSTAKA		105
LAMPIRAN		109
BIODATA PENULIS		125

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Muara Sungai Didominasi Gelombang Laut	10
Gambar 2.2	Muara Sungai Didominasi Aliran Sungai	10
Gambar 2.3	Sirkulasi Angin Global Berdasarkan Letak Lintang	19
Gambar 2.4	Tipe Pasang Surut	24
Gambar 3.1	Lokasi Penelitian di Muara Sungai Welang	33
Gambar 3.2	Bagan Alir Penelitian.....	38
Gambar 4.1	Limbah Industri Penyamakan Kulit yang Mencemari Sungai Welang	40
Gambar 4.2	Peta Batimetri Muara Welang	43
Gambar 4.3	Pemodelan Grid di Muara Welang	44
Gambar 4.4	<i>Meshing</i> Batimetri di Muara Welang	44
Gambar 4.5	Kondisi Batas Pemodelan Muara Welang	45
Gambar 4.6	Perbandingan Data Pasang Surut Pengukuran dengan Hasil Pemodelan	47
Gambar 4.7	Perbandingan Data Pengukuran Arus di Lapangan dengan Hasil Pemodelan	47
Gambar 4.8	Grafik Hasil Pemodelan Pasang Surut Muara Welang	48
Gambar 4.9	Mawar Angin Hasil Peramalan BMKG untuk Area Muara Welang	51
Gambar 4.10	Pola Arus di Muara Welang saat Kondisi Menuju Pasang	52
Gambar 4.11	Pola Arus di Muara Welang saat Kondisi Pasang Tertinggi	53
Gambar 4.12	Pola Arus di Muara Welang saat Kondisi Menuju Surut	53
Gambar 4.13	Pola Arus di Muara Welang saat Kondisi Surut Terendah	54
Gambar 4.14	Debit Sungai Welang bagian Hilir.....	54
Gambar 4.15	Distribusi DO Sebelum Pembuangan Limbah	56
Gambar 4.16	Distribusi DO saat Kondisi Menuju Pasang	56
Gambar 4.17	Distribusi DO saat Kondisi Pasang Tertinggi	57
Gambar 4.18	Distribusi DO saat Kondisi Menuju Surut	57
Gambar 4.19	Distribusi DO saat Kondisi Surut Terendah	58

Gambar 4.20	Korelasi antara Pasang Surut dan Debit dengan Konsentrasi DO	60
Gambar 4.21	Distribusi BOD Sebelum Pembuangan Limbah.....	63
Gambar 4.22	Distribusi BOD saat Kondisi Menuju Pasang	63
Gambar 4.23	Distribusi BOD saat Kondisi Pasang Tertinggi	64
Gambar 4.24	Distribusi BOD saat Kondisi Menuju Surut	64
Gambar 4.25	Distribusi BOD saat Kondisi Surut Terendah	65
Gambar 4.26	Korelasi antara Pasang Surut dan Debit dengan Konsentrasi BOD	66
Gambar 4.27	Distribusi COD Sebelum Pembuangan Limbah.....	69
Gambar 4.28	Distribusi COD saat Kondisi Menuju Pasang	69
Gambar 4.29	Distribusi COD saat Kondisi Pasang Tertinggi	70
Gambar 4.30	Distribusi COD saat Kondisi Menuju Surut	70
Gambar 4.31	Distribusi COD saat Kondisi Surut Terendah	71
Gambar 4.32	Korelasi antara Pasang Surut dan Debit dengan Konsentrasi COD	73
Gambar 4.33	Distribusi TSS Sebelum Pembuangan Limbah	75
Gambar 4.34	Distribusi TSS saat Kondisi Menuju Pasang	75
Gambar 4.35	Distribusi TSS saat Kondisi Pasang Tertinggi	76
Gambar 4.36	Distribusi TSS saat Kondisi Menuju Surut	76
Gambar 4.37	Distribusi TSS saat Kondisi Surut Terendah	77
Gambar 4.38	Korelasi antara Pasang Surut dan Debit dengan Konsentrasi TSS	79
Gambar 4.39	Distribusi Amonia Sebelum Pembuangan Limbah.....	82
Gambar 4.40	Distribusi Amonia saat Kondisi Menuju Pasang	82
Gambar 4.41	Distribusi Amonia saat Kondisi Pasang Tertinggi	83
Gambar 4.42	Distribusi Amonia saat Kondisi Menuju Surut	83
Gambar 4.43	Distribusi Amonia saat Kondisi Surut Terendah	84
Gambar 4.44	Korelasi antara Pasang Surut dan Debit dengan Konsentrasi Amonia	86
Gambar 4.45	Distribusi Krom Sebelum Pembuangan Limbah	88
Gambar 4.46	Distribusi Krom saat Kondisi Menuju Pasang	89

Gambar 4.47	Distribusi Krom saat Kondisi Pasang Tertinggi	89
Gambar 4.48	Distribusi Krom saat Kondisi Pasang Tertinggi	90
Gambar 4.49	Distribusi Krom saat Kondisi Surut Terendah	90
Gambar 4.50	Korelasi antara Pasang Surut dan Debit dengan Konsentrasi Krom.....	92
Gambar 4.51	Konsentrasi Sulfida Sebelum Pembuangan Limbah	95
Gambar 4.52	Distribusi Sulfida saat Kondisi Menuju Pasang	95
Gambar 4.53	Distribusi Sulfida saat Kondisi Pasang Tertinggi	96
Gambar 4.54	Distribusi Sulfida saat Kondisi Menuju Surut	96
Gambar 4.55	Distribusi Sulfida saat Kondisi Surut Terendah	97
Gambar 4.56	Konsentrasi Sulfida di Muara Welang	98

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Konsentrasi Parameter Kualitas Air Sebelum Pembuangan Limbah Industri di Muara Welang	41
Tabel 4.2	Konsentrasi Parameter Kualitas Air Setelah Pembuangan Limbah Industri pada Stasiun 1	42
Tabel 4.3	Kondisi Batas Pemodelan Muara Welang	45
Tabel 4.4	Hasil Validasi Pemodelan DO dengan Pengukuran Langsung	48
Tabel 4.5	Hasil Validasi Pemodelan BOD dengan Pengukuran Langsung	48
Tabel 4.6	Hasil Validasi Pemodelan COD dengan Pengukuran Langsung	48
Tabel 4.7	Hasil Validasi Pemodelan TSS dengan Pengukuran Langsung.....	48
Tabel 4.8	Hasil Validasi Pemodelan Amonia dengan Pengukuran Langsung	49
Tabel 4.9	Hasil Validasi Pemodelan Krom dengan Pengukuran Langsung	49
Tabel 4.10	Hasil Validasi Pemodelan Sulfida dengan Pengukuran Langsung	49
Tabel 4.11	Perubahan Konsentrasi DO pada 4 Stasiun Pengamatan	59
Tabel 4.12	Perubahan Konsentrasi BOD pada 4 Stasiun Pengamatan ...	65
Tabel 4.13	Perubahan Konsentrasi COD pada 4 Stasiun Pengamatan	71
Tabel 4.14	Perubahan Konsentrasi TSS pada 4 Stasiun Pengamatan	78
Tabel 4.15	Perubahan Konsentrasi Amonia pada 4 Stasiun Pengamatan ..	85
Tabel 4.16	Perubahan Konsentrasi Krom pada 4 Stasiun Pengamatan	91
Tabel 4.17	Perubahan Konsentrasi Sulfida pada 4 Stasiun Pengamatan ...	97

(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB I
PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai merupakan alur dan wadah air alami atau buatan berupa jaringan pengalir air mulai dari hulu sampai hilir dengan dibatasi kanan dan kiri oleh garis sempadan. Posisi sungai berada paling rendah dalam lanskap bumi, sehingga kondisi sungai tidak dapat dipisahkan dari kondisi daerah aliran sungai (DAS) (PP 38 Tahun 2011). Sungai memiliki peran penting bagi kehidupan manusia karena berfungsi sebagai penyedia air dan wadah air untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga, sanitasi lingkungan, pertanian, industri, pariwisata, olahraga, pertahanan, perikanan transportasi, dan lain sebagainya (Agustiniingsih, 2012). Fungsi sungai sebagai tempat penampungan dan transportasi yaitu membawa air, material sedimen, limbah serta zat hara yang berasal dari hulu dan wilayah pemukiman ke muara.

Kualitas air merupakan karakteristik air yang berhubungan dengan kemampuan menerima berdasarkan tujuan atau digunakan sebagai apakah air tersebut (Lamb, 1985). Kualitas air memiliki baku mutu sesuai PP No. 82 Tahun 2001 yang merupakan referensi untuk menentukan apakah air tersebut aman atau tercemar. Kualitas air tidak dapat diketahui dengan melihat secara kasat mata, beberapa parameter kualitas air seperti DO (*Dissolve Oxygen*), BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*) fosfat, nitrat dan amonia harus diuji dan dianalisa terlebih dahulu. Parameter kualitas air bersifat dinamis dan mampu mengindikasikan keadaan lingkungan saat itu.

Kualitas air sungai dipengaruhi kondisi alam dan kondisi suplai air dari daerah penyangga yang berkaitan dengan aktivitas manusia (Wiwoho, 2005). Faktor alam yang mempengaruhi seperti hujan, banjir, letusan gunung dan lain-lain. Faktor yang dipengaruhi aktivitas manusia seperti pembuangan limbah industri, limbah domestik (rumah tangga), pertanian dan perkebunan (Suriawiria, 2003). Sedimen yang berasal dari erosi, pertambangan, konstruksi dan pembukaan lahan

juga dapat menurunkan kualitas air (W. R. Ott, 1978). Berbagai aktivitas tersebut terjadi dari bagian hulu, daerah aliran sungai, dan muara.

Sungai Welang merupakan sungai yang terletak di Jawa Timur yang melintasi Kabupaten Malang, Kabupaten Pasuruan, serta Kota Pasuruan. Sungai ini mengalir dari Kecamatan Lawang, Kabupaten Malang dan bermuara di Selat Madura di Kecamatan Kraton sebelah barat Kota Pasuruan. DAS Welang dari hulu ke muara memiliki luas 518 km² dengan panjang sungai utama yaitu 36 km dan lebar rata-rata 25 m (UPT PSDA Pasuruan).

PT Carma Wira Jatim merupakan perusahaan yang terletak di DAS Welang bagian hilir. Perusahaan yang bergerak dibidang jasa penyamakan kulit kambing, domba dan sapi dari *raw* material kulit mentah menjadi barang setengah jadi ini diduga membuang limbah cair secara langsung ke Sungai Welang. Pembuangan limbah cair penyamakan kulit dilakukan sebanyak 2-3 kali dalam satu minggu. Limbah cair ini mengandung bahan kimia dan logam berat yang tinggi untuk menghasilkan kualitas kulit yang baik. Limbah cair berwarna putih dibuang melalui pipa dari perusahaan menuju bibir sungai mengakibatkan sungai berwarna putih dan menimbulkan bau tidak sedap. Pembuangan limbah cair ke sungai atau laut dapat berdampak pada komponen biotik dan abiotik di dalamnya (Febrita dan Dwina, 2013)

Penelitian Susila et al. (2005) bertujuan untuk mengetahui pengaruh limbah industri penyamakan kulit Sitimulyo terhadap karakteristik air sungai. Parameter yang digunakan adalah BOD, COD, TSS, amonia, sulfida, krom total, lemak/minyak dan pH. Hasil penelitian menunjukkan karakteristik air sungai setelah menerima beban pencemaran limbah industri penyamakan kulit masih memenuhi baku mutu. Penelitian yang dilakukan oleh Suntoyo et al. (2015) bertujuan untuk mengetahui kondisi kualitas air di muara Sungai Porong yang disebabkan pembuangan lumpur di Sidoarjo telah berdampak pada banyak sektor. Hasil penelitian tersebut menunjukkan, kualitas air di muara Sungai Porong masih tergolong aman. Penelitian tentang kualitas air di muara Sungai Uppanar, India Selatan yang merupakan daerah pertanian, pemukiman dan pelabuhan perikanan di hilir, tanah tandus dan pusat industri di bagian hulu dan tengah. Hasil penelitian menunjukkan kandungan nitrat, fosfat, zat besi dan timah hitam melebihi ambang

batas yang diijinkan oleh WHO di bagian tengah dan hilir sungai di mana kegiatan antropogeniknya tinggi. Kualitas air secara keseluruhan dikendalikan oleh dua sumber utama seperti pelapukan alami tanah/batuan dasar dan kegiatan pertanian dan industri (Gopal, 2018).

Penelitian Wang et al. (2010) menjelaskan bahwa polusi yang berupa air buangan tambak udang di wilayah Muara Zhangjiang, China telah merubah konsentrasi parameter kualitas air namun masih dapat ditanggulangi dengan adanya tanaman mangrove. Whitehead et al. (2018) dalam penelitiannya menyebutkan Sungai Turag-Tongi-Balu, Bangladesh berada dalam kondisi yang buruk akibat polusi dan memerlukan restorasi. Hasil permodelan menunjukkan bahwa peningkatan aliran dan pengolahan limbah dapat mengurangi pencemaran di sungai tersebut.

Sungai Welang bagian hilir sebagai tempat pembuangan limbah cair industri penyamakan kulit diperkirakan telah mengalami penurunan kualitas air dan menjadi salah satu sumber pencemaran di bagian muara. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas air di Muara Welang akibat pembuangan limbah industri dan menentukan upaya pengendalian pencemaran air di muara Sungai Welang.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana distribusi parameter kualitas air akibat pembuangan limbah industri penyamakan kulit di muara Sungai Welang?
2. Bagaimana tingkat pencemaran air akibat pembuangan limbah industri penyamakan kulit di muara Sungai Welang?
3. Bagaimana upaya pengendalian pencemaran di muara Sungai Welang untuk menjaga dan memulihkan kondisi air sungai?

1.3 Tujuan

Tujuan dilaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui distribusi parameter kualitas air akibat pembuangan limbah industri penyamakan kulit di muara Sungai Welang.

2. Mengetahui tingkat pencemaran air akibat pembuangan limbah industri penyamakan kulit di muara Sungai Welang.
3. Merumuskan strategi pengendalian pencemaran muara Sungai Welang untuk menjaga dan memulihkan kondisi air sungai.

1.4 Manfaat

Manfaat penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui distribusi parameter kualitas air dan pencemaran air di muara Sungai Welang akibat pembuangan limbah industri penyamakan kulit.
2. Memberikan informasi sebagai pertimbangan kepada perusahaan, pemerintah, masyarakat dan pihak-pihak terkait untuk merancang strategi penanggulangan pencemaran air akibat pembuangan limbah di muara Sungai Welang.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Lokasi penelitian merupakan daerah muara Sungai Welang
2. Parameter perubahan kualitas air berdasarkan indikator kualitas air yaitu DO, BOD, COD, TSS, amonia, krom, dan sulfida di Muara Welang.



BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian yang dilakukan oleh Suntoyo et al. (2015) bertujuan untuk mengetahui kondisi kualitas air di Muara Porong yang disebabkan pembuangan lumpur di Sidoarjo. Penelitian tersebut memodelkan persebaran beberapa parameter kualitas air yaitu COD, TSS, fosfat, dan nitrat. Hasil penelitian tersebut menunjukkan, kualitas air di muara Sungai Porong masih tergolong aman dan masuk dalam Kelas Air III sesuai standar baku mutu air. Hasil penelitian juga menunjukkan adanya perbedaan kualitas air estuari selama pasang dan surut. Selama air pasang, nilai COD, fosfat, dan nitrat memiliki konsentrasi yang lebih rendah dibandingkan saat air surut. Sedangkan TSS menunjukkan keadaan yang sebaliknya.

Penelitian lain oleh Gopal (2018) tentang kualitas air di muara Sungai Uppanar, India Selatan yang merupakan daerah pertanian, pemukiman dan pelabuhan perikanan di hilir, tanah tandus dan pusat industri di bagian hulu dan tengah. Pengambilan sampel dilakukan di dua puluh lima (25) stasiun pada area studi dari hulu hingga hilir. Hasil penelitian menunjukkan kandungan nitrat, fosfat, zat besi dan timah hitam melebihi ambang batas yang diijinkan oleh WHO di bagian tengah dan hilir sungai di mana kegiatan antropogeniknya tinggi. Kualitas air secara keseluruhan dikendalikan oleh dua sumber utama seperti pelapukan alami tanah/batuan dasar dan kegiatan pertanian dan industri.

Penelitian Wang et al. (2010) menjelaskan bahwa polusi yang berupa air buangan tambak udang di wilayah Muara Zhangjiang, China telah merubah konsentrasi parameter kualitas air namun masih dapat ditanggulangi dengan adanya tanaman mangrove. Air buangan dari tambak tersebut dibuang langsung di area vegetasi mangrove selama air surut. Parameter yang digunakan untuk mengetahui kualitas air adalah salinitas, pH, DO, TN (*total dissolved nitrogen*), TP (*total dissolved phosphorus*), COD, dan DOC (*dissolved organic carbon*). Hasil penelitian tersebut menunjukkan 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.

Whitehead et al. (2018) melakukan penelitian di Sungai Turag-Tongi-Balu, Bangladesh. Sungai ini merupakan salah satu yang paling tercemar di dunia. Permodelan numerik digunakan untuk menilai proses hidrokimia dan mengevaluasi strategi alternatif untuk kebijakan dan pengelolaan masalah polusi di sungai. Parameter yang digunakan dalam permodelan kualitas air yaitu nitrat, amonia dan bakteri indikator (total coliform). Berbagai skenario dieksplorasi untuk membersihkan pencemaran di sungai, termasuk peningkatan aliran dan peningkatan pengolahan limbah. Hasil permodelan menunjukkan peningkatan efisiensi pengolahan limbah memiliki dampak yang lebih signifikan untuk mengurangi kadar amonia dan total coliform dibandingkan peningkatan aliran, tetapi strategi gabungan akan sangat mengurangi masalah pencemaran air di Sungai Turag Tongi-Balu.

2.2 Sungai

Definisi sungai menurut Peraturan Pemerintah No 38 Tahun 2011 adalah alur atau wadah air alami dan/atau buatan berupa jaringan pengaliran air beserta air di dalamnya, mulai dari hulu sampai muara, dengan dibatasi kanan dan kiri oleh garis sempadan. Sungai sebagai wadah air mengalir selalu berada di posisi paling rendah dalam lanskap bumi, sehingga kondisi sungai tidak dapat dipisahkan dari kondisi daerah aliran sungai. Daerah aliran sungai (DAS) adalah daerah yang dibatasi punggung-punggungan gunung dimana air hujan yang jatuh pada daerah tersebut akan ditampung dan dialirkan melalui sungai-sungai kecil melalui sungai-sungai utama (Asdak, 2010). Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 04/PRT/M/2015 tentang Kriteria Dan Penetapan Wilayah Sungai, yang dimaksud wilayah sungai (WS) adalah kesatuan wilayah pengelolaan sumber daya air dalam satu atau lebih daerah aliran sungai dan/atau pulau-pulau kecil yang luasnya kurang dari atau sama dengan 2.000 km².

Sungai merupakan salah satu sumber air bagi kehidupan yang ada di bumi, dengan adanya sungai dapat memberikan manfaat baik pada kehidupan manusia maupun pada alam. Manfaat sungai bagi kehidupan manusia antara lain sebagai

penyedia dan wadah air untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga, sanitasi lingkungan, pertanian, industri, pariwisata, olah raga, pertahanan, perikanan, pembangkit listrik, transportasi, dan kebutuhan lainnya. Sedangkan manfaat sungai terhadap alam antara lain sebagai pemulih kualitas air, penyalur banjir, dan sebagai habitat ekosistem flora dan fauna (PP Nomor 38 Tahun 2011 tentang Sungai).

Sungai mengalir dari hulu ke hilir bergerak dari tempat yang tinggi ke tempat yang rendah. Air sungai berakhir di laut sehingga air yang tadinya terasa tawar menjadi asin terkena zat garam di laut luas. Dalam mempelajari ekosistem DAS, sungai dibagi menjadi daerah hulu, tengah, dan hilir (Asdak, 2010). Pada DAS bagian hulu disebut *upland watershed*. DAS bagian tengah disebut *midland watershed*, dan bagian hilir atau yang berada dekat pantai disebut *lowland watershed*.

1. Daerah hulu

Daerah hulu dicirikan sebagai daerah pegunungan dengan variasi topografi, kemiringan lereng besar ($> 15\%$), memiliki curah hujan yang tinggi dan sebagai daerah konservasi, memiliki kerapatan drainase tinggi, bukan merupakan daerah banjir, pemakaian air ditentukan oleh pola drainase dan jenis vegetasi umumnya merupakan tegakan hutan. DAS bagian hulu didasarkan pada fungsi konservasi yang dikelola untuk mempertahankan kondisi lingkungan DAS agar tidak terdegradasi, yang antara lain dapat diindikasikan dari kondisi tutupan vegetasi lahan DAS, kualitas air, kemampuan menyimpan air (debit), dan curah hujan. DAS bagian hulu mempunyai arti penting terutama dari segi perlindungan fungsi tata air, karena itu setiap terjadinya kegiatan di daerah hulu akan menimbulkan dampak di daerah hilir dalam bentuk perubahan fluktuasi debit dan transport sedimen sistem aliran airnya.

2. Daerah tengah

Daerah tengah merupakan daerah transisi dari kedua karakteristik biogeofisik DAS yang berbeda antara hulu dan hilir. DAS bagian tengah didasarkan pada fungsi pemanfaatan air sungai yang dikelola untuk dapat memberikan manfaat bagi kepentingan sosial dan ekonomi, yang antara lain dapat diindikasikan dari kuantitas air, kualitas air, kemampuan menyalurkan

air, dan ketinggian muka air tanah, serta terkait pada prasarana pengairan seperti pengelolaan sungai, waduk, dan danau.

3. Daerah hilir

Daerah hilir dicirikan sebagai daerah pemanfaatan, memiliki kerapatan drainase kecil, kemiringan lereng sangat kecil ($< 8\%$), di beberapa tempat merupakan daerah banjir (genangan), pemakaian air ditentukan oleh bangunan irigasi, jenis vegetasi didominasi oleh tanaman pertanian kecuali daerah estuaria yang didominasi oleh hutan bakau atau gambut. DAS bagian hilir didasarkan pada fungsi pemanfaatan air sungai yang dikelola untuk dapat memberikan manfaat bagi kepentingan sosial dan ekonomi, yang diindikasikan melalui kuantitas dan kualitas air, kemampuan menyalurkan air, ketinggian curah hujan, dan terkait untuk kebutuhan pertanian, air bersih, serta pengelolaan air limbah. Bagian hilir merupakan daerah pemanfaatan yang relatif landai dengan curah hujan yang lebih rendah. Semakin ke hilir, mutu air, kontinuitas, kualitas dan debit akan semakin berkurang kualitasnya dibandingkan dengan DAS bagian hulu. Hal ini terjadi karena badan air di hulu tercemari oleh kegiatan-kegiatan manusia baik domestik maupun industri, sehingga badan air di bagian hilir mengalami kondisi dan kualitas yang kurang baik.

2.2.1 Muara Sungai

Muara sungai adalah bagian hilir dari sungai yang berhubungan dengan laut. Permasalahan di muara sungai dapat ditinjau di bagian mulut sungai (*river mouth*) dan estuari. Mulut sungai adalah bagian paling hilir dari muara sungai yang bertemu dengan laut. Sedangkan estuari didefinisikan sebagai perairan pantai semi tertutup yang mempunyai hubungan bebas dengan laut terbuka, dimana air asin dari laut dan air tawar dari sungai bertemu secara teratur.

Muara sungai berfungsi sebagai jalur pengeluaran/pembuangan debit sungai, terutama saat musim hujan ke laut. Karena posisi muara sungai di ujung hilir, maka debit alirannya lebih besar dibandingkan debit aliran bagian hulu sungai. Selain itu muara sungai juga harus melewatkan debit yang ditimbulkan oleh pasang surut air laut yang bisa lebih besar dari debit sungai.

Morfologi muara sungai dibedakan menjadi tiga kelompok berdasarkan pada faktor dominan yang mempengaruhinya. Ketiga faktor tersebut adalah gelombang, debit sungai, dan pasang surut (Triatmodjo, 1999). Berikut adalah pembagian tiga kelompok muara sungai tersebut:

1. Muara sungai yang didominasi pasang surut

Tipe muara ini ditandai dengan fluktuasi pasang surut yang cukup besar. Apabila tinggi pasang surut cukup besar, air pasang yang masuk ke sungai dengan volume yang sangat besar. Air tersebut akan berakumulasi dengan air dari hulu sungai. Pada saat surut, volume air yang sangat besar tersebut mengalir keluar dalam periode waktu tertentu yang tergantung pada tipe pasang surut. Dengan demikian, kecepatan arus selama air surut cukup besar, yang cukup potensial untuk membentuk muara sungai. Muara sungai ini berbentuk seperti lonceng.

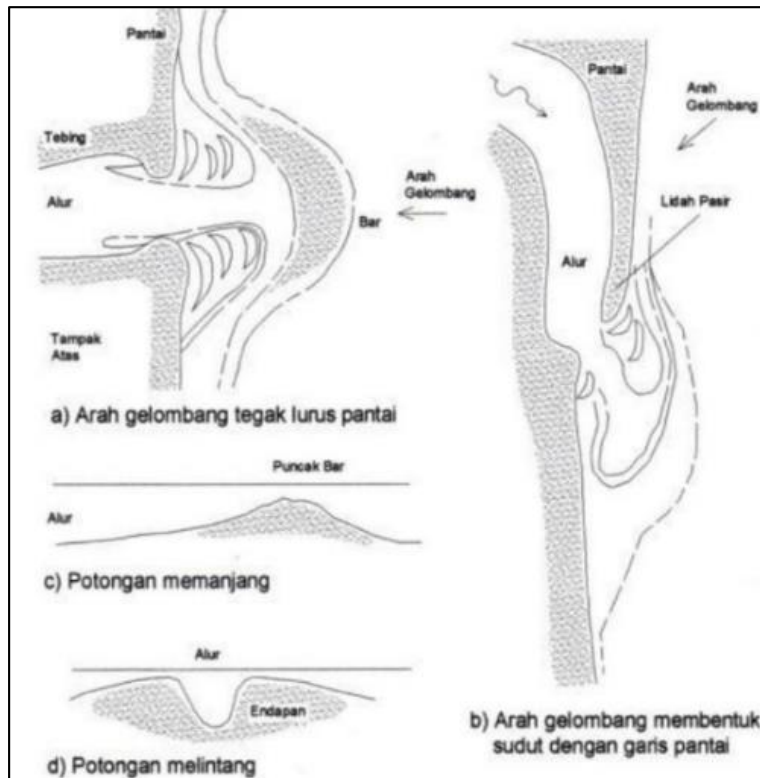
2. Muara sungai yang didominasi gelombang laut

Tipe muara yang didominasi gelombang laut (Gambar 2.1) ditandai dengan angkutan sedimen menyusur pantai setiap tahun cukup besar. Pada tipe ini biasanya muara tertutup oleh lidah pasir dengan pola sedimentasi. Gelombang besar pada pantai berpasir dapat menyebabkan angkutan (transpor) sedimen (pasir), baik dalam arah tegak lurus maupun sejajar/sepanjang pantai. Dari kedua jenis transpor tersebut, transportasi sedimen sepanjang pantai adalah yang paling dominan. Angkutan sedimen tersebut dapat bergerak masuk ke muara sungai pada kondisi gelombang sudah tenang, maka sedimen akan mengendap. Semakin besar gelombang, semakin besar angkutan sedimen sehingga menyebabkan endapan.

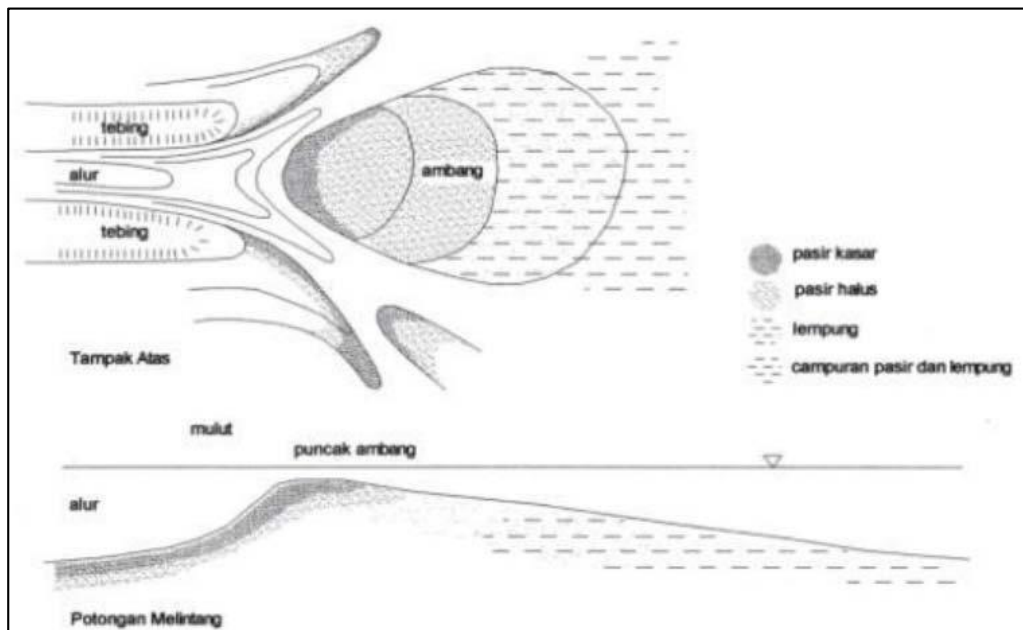
3. Muara sungai yang didominasi debit sungai

Tipe muara ini ditandai dengan debit yang mengalir setiap tahunnya cukup besar sehingga debit tersebut merupakan parameter utama pembentukan muara sungai di laut dengan gelombang relatif kecil. Sungai tersebut membawa angkutan sedimen dari hulu cukup besar. Dalam satu siklus pasang surut jumlah sedimen yang mengendap jauh lebih banyak dari yang tererosi, sehingga terjadi pengendapan didepan mulut sungai. Proses tersebut terjadi terus-menerus sehingga muara sungai akan maju ke arah laut

membentuk delta. Muara sungai yang didominasi oleh debit sungai ditunjukkan Gambar 2.2.



Gambar 2.1 Muara Sungai Didominasi Gelombang Laut (Triatmodjo, 1999)



Gambar 2.2 Muara Sungai Didominasi Aliran Sungai (Triatmodjo, 1999)

2.2.2 Debit Sungai

Debit adalah laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu. Dalam sistem satuan SI besarnya debit dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik (m^3/dt). Dalam laporan-laporan teknis, debit aliran biasanya ditunjukkan dalam bentuk hidrograf aliran. Hidrograf aliran adalah suatu perilaku debit sebagai respon adanya perubahan karakteristik biogeofisik yang berlangsung dalam suatu DAS (oleh adanya kegiatan pengelolaan DAS) dan atau adanya perubahan (fluktuasi musiman atau tahunan) iklim lokal (Asdak, 2010).

Debit aliran sungai akan naik setelah terjadi hujan yang cukup, kemudian akan turun kembali setelah hujan selesai. Gambar tentang naik turunnya debit sungai menurut waktu disebut hidrograf. Bentuk hidrograf suatu sungai tergantung dari sifat hujan dan sifat-sifat daerah aliran sungai yang bersangkutan (Arsyad, 2006). Sebagian besar debit aliran pada sungai kecil yang masih alamiah adalah debit aliran yang berasal dari air tanah atau mata air dan debit aliran air permukaan (air hujan). Dengan demikian aliran air pada sungai kecil pada umumnya lebih menggambarkan kondisi hujan daerah yang bersangkutan. Sedangkan sungai besar, sebagian besar debit alirannya berasal dari sungai-sungai kecil dan sungai sedang di atasnya. Sehingga aliran air sungai besar tidak mesti menggambarkan kondisi hujan dilokasi yang bersangkutan. Aliran dasar pada sungai kecil terbentuk dari aliran mata air dan air tanah, sedang aliran dasar pada sungai besar dibentuk dari aliran dasar sungai-sungai kecil dan sedang yang berada di atasnya (Maryono, 2005).

2.3 Kualitas Air

Kualitas air menurut Meybeck dan Helmer (1992) merupakan keadaan sungai yang dinilai dari berbagai parameter yang mengekspresikan komposisi fisik, kimia dan biologis air. Menurut undang-undang PPLH kualitas air merupakan karakteristik yang dicerminkan oleh parameter kimia organik, kimia nonorganik, fisik, biotik, dan radioaktif bagi perlindungan dan pengembangan air untuk peruntukan tertentu.

Kualitas air sungai merupakan kondisi kualitatif yang diukur berdasarkan parameter tertentu dan dengan metode tertentu sesuai peraturan perundangan yang berlaku. Kualitas air sungai dapat dinyatakan dengan parameter yang menggambarkan kualitas air tersebut. Parameter tersebut meliputi parameter fisika, kimia dan biologi (Asdak, 2010). Parameter fisika air yang sangat menentukan kualitas air dapat dilihat secara visual atau kasat mata meliputi tingkat kekeruhan, suhu, bau, rasa, warna, jumlah padatan tersuspensi, padatan terlarut dan daya hantar listrik (DHL). Parameter kimia meliputi derajat keasaman (pH), oksigen terlarut (DO), BOD, COD, konsentrasi dari zat-zat kalium, magnesium, mangan, besi, sulfida, sulfat, amonia, nitrat, nitrit, fosfat, minyak, lemak dan kandungan logam berat. Parameter biologi yang dapat dijadikan indikator pencemaran yaitu bakteri, ganggang, benthos, plankton, dan ikan tertentu (Mukhtasor, 2007). Parameter yang digunakan dalam menilai kualitas air pada limbah industri penyamakan kulit menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup nomer KEP 51-/MENLH/10/1995 adalah sebagai berikut:

1. *Dissolve Oxygen (DO)*

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, 2009).

2. *Biochemical oxygen demand (BOD)*

BOD merupakan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh organisme aerob untuk menguraikan bahan organik dalam air pada suhu tertentu selama periode waktu tertentu (Kaiser, 1998). Nilai BOD digunakan untuk menyatakan kandungan senyawa organik limbah yang terkandung di dalam perairan. Nilai BOD yang tinggi menunjukkan bahwa derajat pengotoran air limbah adalah semakin besar (Sugiharto, 1987).

3. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

COD merupakan salah satu parameter kimia untuk menilai kualitas air. COD adalah kadar oksigen terlarut dalam air yang dibutuhkan untuk menguraikan zat organik menjadi CO_2 dan H_2O yang sukar dihancurkan

secara oksidasi (Rajasekharan, 2015). Oleh karenanya dibutuhkan bantuan reaksi oksidator yang kuat menjadi suasana asam. COD menggambarkan jumlah total zat organik yang ada dalam air, biasanya dinyatakan dalam massa oksigen yang dikonsumsi melebihi volume larutan, yang dalam satuan SI adalah perliter miligram (mg/L). Konsentrasi COD yang meningkat menunjukkan penurunan kualitas suatu perairan.

4. *Total Suspended Solid (TSS)*

TSS adalah partikel dalam air yang lebih besar dari 0,45 μm (Ruegner et al., 2013). Padatan ini terdiri dari partikel-partikel yang memiliki ukuran dan berat sangat kecil sehingga melayang-layang dalam air. TSS tidak larut dalam air dan langsung mengendap (Mukhtasor, 2007). Padatan yang tersuspensi ini adalah salah satu penyebab kekeruhan di dalam air yang berupa bahan-bahan organik dan anorganik. Zat anorganik berasal dari pasir, lumpur, tanah liat dan logam. Partikel organik seperti fitoplankton, zooplankton, bakteri, fungi, lapukan tanaman, dan hewan. Namun limbah industri juga merupakan faktor penting pada kekeruhan air. Partikel-partikel ini diangkut dengan air yang mengalir dan mengendap ketika alirannya tidak cukup untuk menahannya. Air yang tinggi dalam padatan tersuspensi mungkin secara estetika tidak memuaskan untuk penggunaan sehari-hari termasuk mandi. Konsentrasi TSS yang tinggi juga mencegah sinar matahari dari penetrasi air dan tanaman di lingkungan akuatik tidak dapat melakukan fotosintesis (Boman et al., 2012).

5. Amonia

Amonia secara alami berada dalam badan air, yang timbul dari penguraian mikrobiologis senyawa nitrogen dalam bahan organik. Ikan dan organisme akuatik lainnya juga mengeluarkan amonia. Amonia juga berasal dari beberapa proses industri atau sebagai komponen limbah domestik atau bubur hewan. Amonia juga dapat muncul di perairan karena pembusukan sampah organik yang dibuang. Air yang tidak tercemar mengandung jumlah amonia yang relatif kecil ($< 0,02 \text{ mg/L}$) karena N. Ammonia ada dalam larutan dalam dua bentuk, terionisasi (NH_4^+) dan terionisasi (NH_3) (Siddiqi

dan Chandrasekhar, 2010). Konsentrasi amonia meningkat seiring dengan meningkatnya pH.

6. Krom

Krom (Cr) merupakan salah satu jenis logam berat yang dihasilkan dari proses penyamakan kulit. Konsentrasi logam berat yang lebih tinggi dapat membentuk senyawa kompleks yang berbahaya, yang secara kritis mempengaruhi fungsi biologis yang berbeda (Afshan et al., 2014). Logam berat yang berasal dari limbah industri dapat mempengaruhi ekosistem perairan. Konsentrasi logam berat yang tinggi sering menimbulkan ancaman bagi biota dan ekosistem. Logam berat tidak mudah terdegradasi di alam dan dapat terakumulasi pada tubuh hewan dan manusia dengan jumlah toksik yang sangat tinggi, sehingga menyebabkan efek yang tidak diinginkan jika keberadaannya melampaui batas tertentu (Paul, 2017).

7. Sulfida

Sulfida (S) merupakan gas asam belerang. Sulfida pada air limbah merupakan hasil pembusukan zat organik berupa hydrogen sulfida (H_2S). Hidrogen sulfida yang diproduksi oleh mikroorganisme pembusuk dari zat-zat organik bersifat racun terhadap ganggang dan mikroorganisme lainnya, tetapi sebaliknya hidrogen sulfida dapat digunakan oleh bakteri fotosintetik sebagai sebagai donor elektron/hidrogen untuk mereduksi karbondioksida (CO_2). Hasil pembusukan zat-zat organik tersebut menimbulkan bau busuk yang tidak menyenangkan pada lingkungan sekitarnya.

Dalam proses industri, keberadaan sulfida dalam bentuk hidrogen sulfida sangat mengganggu karena dapat menyebabkan kerusakan pada beton-beton dan juga mnyebabkan berkaratnya logam-logam (pipa penyaluran). Proses penguraian zat-zat organik (senyawa belerang) menyebabkan timbulnya bau busuk pada perairan (Mahida, 1984).

Parameter-parameter kualitas air sungai dapat berubah berdasarkan kondisi alami maupun adanya aktivitas antropogenik. Aktivitas antropogenik yang mempengaruhi kualitas air sungai berasal dari perubahan pola pemanfaatan lahan, kegiatan pertanian, permukiman serta industri. Kegiatan pertanian dan permukiman

pada dasarnya merubah bentang alam melalui pengolahan tanah, sehingga akan mempengaruhi kualitas air sungai (Asdak, 2010). Menurut Supangat (2008) dalam Agustiningsih (2012), Daerah hulu dengan pola pemanfaatan lahan yang relatif seragam, mempunyai kualitas air yang lebih baik dari daerah hilir dengan pola penggunaan lahan yang beragam. Semakin kecil tutupan hutan dalam sub DAS serta semakin beragamnya jenis penggunaan lahan dalam sub DAS menyebabkan kondisi kualitas air sungai yang semakin buruk, terutama akibat adanya aktivitas pertanian dan pemukiman.

2.4 Pencemaran Air

Menurut UU No. 23 Tahun 1997 tentang pengelolaan lingkungan hidup, pencemaran lingkungan didefinisikan sebagai masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga kualitasnya turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan hidup tidak dapat berfungsi sesuai peruntukannya. Pencemaran air adalah masuknya atau dimasukkannya zat, makhluk hidup, substansi/energi ataupun komponen lainnya ke dalam lingkungan air oleh manusia secara langsung atau tidak langsung yang mengakibatkan terjadinya pengaruh yang merugikan. Pengaruh tersebut dapat berupa rusaknya sumberdaya hidup, bahaya terhadap kesehatan manusia, gangguan pada kegiatan kelautan diantaranya rusaknya kualitas air dan pengurangan pada keindahan dan kenyamanan (Mukhtasor, 2007). Miller dan Connell (1995) mengatakan bahwa pencemaran perairan adalah peristiwa masuknya senyawa-senyawa yang dihasilkan dari kegiatan manusia ditambahkan ke lingkungan perairan, menyebabkan perubahan yang buruk terhadap kekhasan fisik, kimia, biologis dan estetis. Makhluk hidup memiliki berbagai reaksi mulai dari pengaruh yang sangat kecil sampai ke subletal seperti, berkurangnya pertumbuhan, perkembangbiakan pengaruh perilaku, atau kematian yang nyata. Menurut Williams (1979) pencemaran merupakan keadaan perubahan dari kondisi normal, satu atau lebih parameter yang menyebabkan lingkungan terdegradasi.

Pencemaran air dapat dibagi atas tiga bagian, yaitu berupa pencemaran air yang disebabkan oleh domestik (rumah tangga), pencemaran air yang disebabkan

oleh industri dan dampak pencemaran air oleh buangan pertanian dan perkebunan (Mukono, 2008). Pencemar dapat berasal dari daerah khusus (*point source*) dan terdistribusi (*nonpoint source*). Sumber pencemar *point source*, misalnya: saluran buangan pabrik, dan sumur pengeboran minyak. Sumber pencemar *non-point source*, misalnya: limpasan pestisida yang berasal dari sawah dan domestik. Limbah organik dengan kadar yang tinggi akan menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut karena dalam perombakan limbah organik membutuhkan oksigen terlarut untuk proses perombakan (dekomposisi). Sumber limbah organik adalah limbah rumah tangga, *food processing*, perkotaan, lumpur sisa produksi industry (Radojevic dan Bashkin, 2007)

Limbah cair dapat dikelompokkan menjadi beberapa golongan berdasarkan sumbernya, yaitu (Mударisin, 2004):

1. Limbah cair domestik, yaitu limbah cair yang berasal dari pemukiman, tempat-tempat komersial (perdagangan, perkantoran, institusi) dan tempat-tempat rekreasi. Air limbah domestik (berasal dari daerah pemukiman) terutama terdiri atas tinja, air kemih, dan buangan limbah cair (kamar mandi, dapur, cucian yang kira-kira mengandung 99,9 % air dan 0,1 % padatan). Zat padat yang ada tersebut terbagi atas ± 70 % zat organik (terutama protein, karbohidrat dan lemak) serta sisanya 30 % zat anorganik terutama pasir, air limbah, garam dan logam.
2. Limbah cair industri merupakan limbah cair yang dikeluarkan oleh industri sebagai akibat dari proses produksi. Limbah cair ini dapat berasal dari air bekas pencuci, bahan pelarut ataupun air pendingin dari industri-industri tersebut. Pada umumnya limbah cair industri lebih sulit dalam pengolahannya, hal ini disebabkan karena zat-zat yang terkandung di dalamnya yang berupa bahan atau zat pelarut, mineral, logam berat, zat-zat organik, lemak, garam-garam, zat warna, nitrogen, sulfida, amonia, dan lain-lain yang bersifat toksik.
3. Limbah pertanian yaitu limbah yang bersumber dari kegiatan pertanian seperti penggunaan pestisida, herbisida, fungisida dan pupuk kimia.
4. *Infiltration/inflow* yaitu limbah cair yang berasal dari perembesan air yang masuk ke dalam dan luapan dari sistem pembuangan air kotor.

Pencemaran air yang tercemar dapat menimbulkan resiko negatif pada manusia (Wardhana, 1995) yaitu:

1. Air menjadi tidak bermanfaat lagi, karena kualitasnya berubah maka peruntukan air pun berubah.
2. Air menjadi penyebab timbulnya penyakit, karena adanya zat-zat kontaminan dan bakteri dalam air dapat membahayakan kehidupan biota perairan serta kesehatan manusia yang berhubungan atau memanfaatkan air tersebut.

2.5 Baku Mutu Air

Mutu air adalah kondisi kualitas air yang diukur dan atau diuji berdasarkan parameter-parameter tertentu dan metode tertentu berdasarkan perundang-undangan yang berlaku. Mutu air dinilai dari ciri fisik, kimiawi dan biologisnya serta tujuan penggunaannya. Bila air dinilai berdasarkan kandungan pencemar fisik, kimiawi dan biologisnya maka mutu akan tergantung pada sejarah air tersebut sebelumnya. Baku mutu air adalah batas atau kadar makhluk hidup, zat, energi, atau komponen lain yang ada atau harus ada dan atau unsur pencemar yang ditenggang keberadanya dalam air pada sumber air tertentu sesuai dengan peruntukannya (PP Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air). Baku mutu air digunakan sebagai tolok ukur terjadinya pencemaran air. Selain itu dapat digunakan sebagai instrumen untuk mengendalikan kegiatan pembuangan air limbah ke sungai agar memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan sehingga kualitas air tetap terjaga pada kondisi alamiahnya.

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, klasifikasi mutu air digolongkan menjadi 4 kelas berdasarkan pada tingkatan baiknya mutu air dan kemungkinan kegunaannya bagi suatu peruntukkan (*designated beneficial water uses*). Klasifikasi mutu air tersebut yaitu:

1. Kelas satu, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

2. Kelas dua, air yang peruntukkannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman dan atau peruntukkan lain yang sama dengan kegunaan tersebut.
3. Kelas tiga, air yang peruntukkannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairin pertanaman dan atau peruntukan lain yang sama dengan kegunaan tersebut.
4. Kelas empat, air yang peruntukkannya dapat digunakan untuk mengairi pertanaman dan atau peruntukkan lain yang sama dengan kegunaan tersebut.

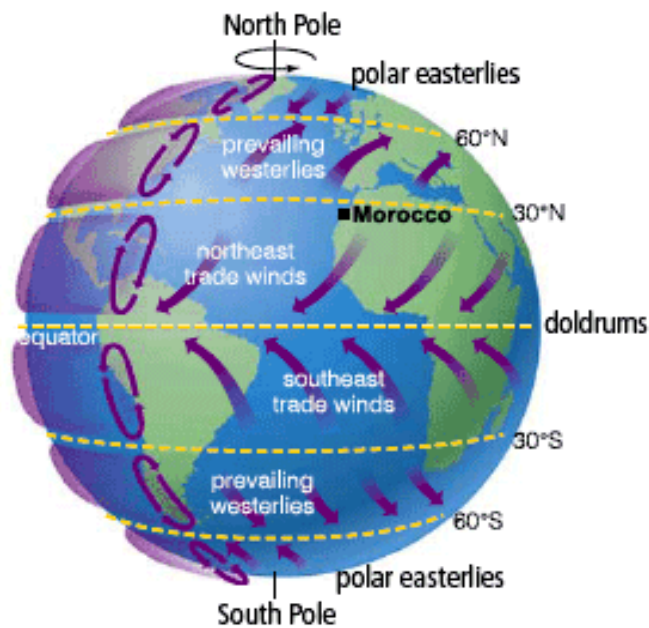
2.6 Angin

Angin secara global adalah udara yang bergerak karena adanya perbedaan tekanan yang terjadi akibat ketidakseimbangan pemanasan matahari ke permukaan bumi. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke tempat bertekanan udara rendah, pada bumi daerah bertekanan tinggi merupakan daerah kutub dan daerah bertekanan rendah adalah daerah subtropis.

Massa udara yang bertekanan tinggi dikenal sebagai antisiklon, udara yang ada di dalamnya berputar ke arah berlawanan dengan jarum jam pada bagian belahan bumi selatan, sedangkan searah jarum jam pada bagian belahan bumi utara. Massa udara yang bertekanan rendah disebut *cyclones*. Gerakan udara di dalamnya bergerak searah jarum jam di bagian belahan bumi selatan dan ke arah lawan jarum jam di bagian belahan bumi utara.

Seluruh permukaan bumi dapat dibagi menjadi beberapa daerah utama yang mempunyai tekanan rendah dan tekanan tinggi yang tergantung kepada letak lintang. Hal ini menyebabkan timbulnya tiga sistem angin utama di permukaan bumi (Gambar 2.3), yaitu:

1. Angin yang terletak pada lintang 0° - 30° yang dikenal sebagai *Trade Winds*. Angin bertiup dari arah Timur ke Barat.
2. Angin yang terletak pada lintang 30° - 60° bertiup dari Barat ke Timur.
3. Angin yang terletak di daerah kutub (antara 60° sampai kutub) yang umumnya bertiup dari Timur ke Barat.



Gambar 2.3 Sirkulasi Angin Global berdasarkan Letak Lintang (Anonim, 2006)

Kecepatan angin di suatu wilayah dapat diukur menggunakan alat yaitu anemometer, Kecepatan angin juga dapat diketahui dengan melihat tanda-tanda alam di sekitar yang kemudian dibandingkan dengan skala *Beaufort* sehingga didapatkan besaran angin yang dicari (Wibisono, 2005).

Indonesia terletak di antara dua benua, yaitu Benua Asia dan Benua Australia, serta dua samudera, yaitu Samudera Pasifik dan Samudera Hindia. Posisi ini menyebabkan kondisi laut Indonesia sangat dipengaruhi oleh kondisi-kondisi yang berkembang di kedua benua dan samudera tersebut. Perubahan musim serta tekanan udara di Benua Asia dan Australia dapat menyebabkan angin muson di Indonesia. Angin muson bertiup secara cepat ke arah tertentu pada satu periode, sedangkan pada periode lainnya angin bertiup secara cepat pula dengan arah yang berbeda. Keadaan tersebut menyebabkan terjadi empat musim di wilayah Indonesia sebagaimana dinyatakan oleh Nontji (2007) dengan rentan periode:

1. Muson Barat

Muson Barat terjadi karena adanya pusat tekanan udara tinggi di atas Benua Asia dan pusat tekanan udara rendah terjadi di atas Benua Australia sehingga angin bertiup dari Barat Laut menuju Tenggara, angin ini dikenal sebagai angin Muson Barat. Musim Barat umumnya membawa curah hujan

yang tinggi di Indonesia, pada periode ini matahari sedang berada di belahan bumi selatan yang mengakibatkan wilayah Benua Australia lebih banyak memperoleh pemanasan matahari daripada Benua Asia. Akibatnya di Australia bertemperatur tinggi dan tekanan udaranya rendah. Sebaliknya di Benua Asia temperaturnya rendah dan tekanan udaranya tinggi, oleh karena itu terjadilah pergerakan angin dari Benua Asia ke Benua Australia.

Angin Muson Barat melewati Samudera Pasifik dan Samudera Indonesia dan Laut Cina Selatan. Karena melewati lautan yang luas, angin ini membawa banyak uap air dan setelah sampai di Indonesia turunlah hujan. Indonesia mengalami musim hujan pada Desember-Maret.

2. Muson Peralihan

Pada periode ini matahari bergerak melintasi khatulistiwa sehingga angin menjadi lemah dan arahnya tidak menentu. Musim Peralihan terjadi pada 2 periode yaitu periode April-Mei disebut Musim Peralihan 1 dan periode Oktober-November dikenal dengan Musim Peralihan 2.

3. Muson Timur

Muson Timur terjadi karena adanya pusat tekanan udara tinggi di atas daratan Australia dan pusat tekanan udara rendah terjadi di atas Benua Asia sehingga angin bertiup dari Tenggara menuju Barat Laut, angin ini dikenal sebagai angin Muson Timur. Matahari mulai bergeser ke belahan bumi utara, di belahan bumi utara khususnya Benua Asia temperaturnya tinggi dan tekanan udaranya rendah. Sebaliknya di Benua Australia yang telah ditinggalkan matahari memiliki temperatur rendah dan tekanan udara tinggi, maka terjadilah pergerakan angin dari Benua Australia ke Benua Asia melalui Indonesia yang dikenal dengan Angin Muson Timur.

Angin ini tidak banyak membawa uap air, karena hanya melewati laut kecil dan jalur sempit seperti Laut Timor, Laut Arafuru, dan bagian selatan Irian Jaya, serta Kepulauan Nusa Tenggara. Oleh sebab itu di Indonesia mengalami musim kemarau pada Juni-September.

Musim yang terjadi dapat mempengaruhi hidrodinamika, sedimen, dan proses kualitas air (Ji, 2009). Musim juga berhubungan dengan temperatur. Umumnya, musim timur memiliki temperatur yang lebih tinggi daripada musim barat. Keadaan

curah hujan di setiap musim yang berbeda juga akan mempengaruhi aliran sungai yang membawa parameter-parameter kualitas air.

2.7 Arus

Arus laut adalah gerakan massa air laut ke arah horizontal dalam skala besar yang disebabkan oleh tiupan angin, perbedaan densitas air laut, maupun oleh gerakan bergelombang panjang, misalnya pasang surut. Arah arus permukaan memiliki hubungan yang erat dengan angin. Indonesia dengan dua perbedaan musim, yaitu musim barat dan musim timur menyebabkan perubahan terhadap tekanan udara sehingga menimbulkan arah angin dan arus yang berbeda pula (Wibisono, 2005).

Arus selain disebabkan oleh angin yang bertiup di atasnya, juga disebabkan beberapa faktor lain. Akibatnya arus yang mengalir di permukaan laut merupakan hasil kerja gabungan dari beberapa faktor. Faktor yang mempengaruhi arus meliputi:

1. Bentuk topografi dasar laut dan pulau-pulau di sekitar perairan

Beberapa sistem lautan di dunia dibatasi oleh massa daratan dari tiga sisi dan oleh arus *equatorial counter* di sisi keempat. Batas-batas ini menghasilkan sistem aliran yang tertutup dan mengarah dalam satu bulatan dari sinilah terbentuk adanya *gyre*.

2. Gaya Coriolis dan Arus Ekman

Gaya Coriolis mempengaruhi pergerakan massa air, dimana gaya ini akan membelokkan arah mereka dari arah lurus. Gaya Coriolis timbul sebagai akibat dari perputaran bumi pada porosnya atau rotasi. Gaya ini yang menghasilkan adanya aliran *gyre* yang mengarah searah jarum jam (ke kanan) pada belahan bumi utara dan berlawanan arah jarum jam (ke kiri) pada belahan bumi selatan.

Gaya Coriolis juga menyebabkan timbulnya perubahan arah arus yang kompleks susunanya yang terjadi sesuai dengan makin dalamnya suatu perairan. Kecepatan arus berkurang, maka tingkat perubahan arah arus yang disebabkan oleh gaya Coriolis meningkat. Hasilnya, hanya terjadi sedikit pembelokan dari arah arus yang relatif cepat di lapisan permukaan dan arah

pembelokan menjadi makin besar pada aliran arus yang kecepatannya menjadi makin lambat di lapisan perairan yang mempunyai kedalaman makin bertambah besar. Akibatnya akan timbul suatu aliran arus dimana makin dalam suatu perairan maka arus yang terjadi pada lapisan perairan akan makin dibelokkan arahnya yang dikenal sebagai spiral Ekman.

3. Perbedaan tekanan air

Permukaan laut yang tidak datar menyebabkan angin cenderung bertiup secara tetap dalam arah yang tertentu dan menyebabkan air tertimbun pada beberapa tempat di lautan. Umumnya di daerah tropik dan subtropis rata-rata lebih tinggi daripada di daerah kutub, walaupun perbedaannya sangat kecil dan dapat menimbulkan perbedaan tekanan air yang berakibat air akan mengalir dari daerah-daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah.

2.8 Pasang Surut

Pasang surut merupakan fluktuasi muka air laut yang disebabkan adanya gaya tarik benda-benda di langit, terutama bulan dan matahari. Massa bulan lebih kecil dari massa matahari, namun jaraknya terhadap bumi jauh lebih dekat, sehingga mengakibatkan pengaruh gaya tarik bulan lebih besar 2,2 kali lipat daripada pengaruh gaya tarik matahari (CERC, 1984).

Pasang surut laut merupakan hasil dari gaya tarik gravitasi dan efek sentrifugal, yakni dorongan ke arah luar pusat rotasi. Hukum gravitasi Newton menyatakan, bahwa semua massa benda tarik menarik satu sama lain dan gaya ini tergantung pada besar massanya, serta jarak di antara massa tersebut. Gravitasi bervariasi secara langsung dengan massa, tetapi berbanding terbalik terhadap jarak. Oleh sebab itu, meskipun massa bulan lebih kecil dari massa matahari tetapi jarak bulan ke bumi jauh lebih kecil, sehingga gaya tarik bulan terhadap bumi pengaruhnya lebih besar dibanding matahari terhadap bumi. Pasang surut dan sirkulasinya berperan penting pada hidrodinamika, transportasi sedimen, dan proses kualitas air di estuari dan perairan pesisir (Ji, 2009).

Tinggi pasang surut adalah jarak vertikal antara air tertinggi dan air terendah yang berurutan. Periode pasang surut adalah waktu yang diperlukan dari posisi

muka air merata ke posisi yang sama berikunya. Periode dimana muka air naik disebut pasang, sedangkan pada saat air turun disebut surut.

Berdasarkan pada posisi matahari dan bulan terhadap bumi, pasang surut air laut dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu pasang-surut purnama dan pasang-surut perbani. Pasang-surut purnama (*spring tides*) terjadi ketika bumi, bulan dan matahari berada dalam suatu garis lurus (matahari dan bulan dalam keadaan oposisi). Pada saat itu, akan dihasilkan pasang tinggi yang sangat tinggi dan pasang rendah yang sangat rendah, karena kombinasi gaya tarik dari matahari dan bulan bekerja saling menguatkan (Surbakti, 2007). Pasang-surut purnama terjadi dua kali setiap bulan, yakni pada saat bulan baru dan bulan purnama (*full moon*). Sedangkan pasang-surut perbani (*neap tides*) terjadi ketika bumi, bulan dan matahari membentuk sudut tegak lurus, yakni saat bulan membentuk sudut 90° dengan bumi. Pada saat itu akan dihasilkan pasang tinggi yang rendah dan pasang rendah yang tinggi. Pasang surut perbani ini terjadi dua kali, yaitu pada saat bulan $1/4$ dan $3/4$. Pasang surut di Indonesia dibedakan menjadi 4 jenis (Triadmojo, 1999), yaitu:

1. Pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*)

Dalam satu hari terjadi satu kali pasang dan satu kali surut. Periode pasang surut adalah 24 jam 50 menit.

2. Pasang surut harian ganda (*semidiurnal tide*)

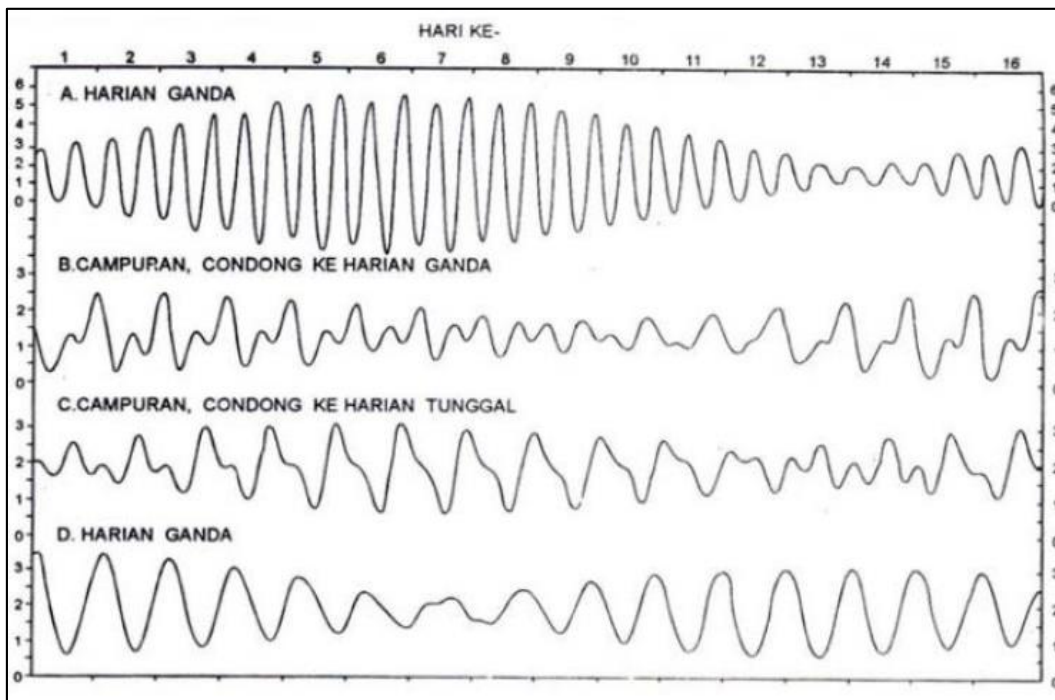
Dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut. Periode pasang surut adalah 12 jam 24 menit.

3. Pasang surut campuran condong harian tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*)

Dalam satu hari terjadi satu kali pasang dan satu kali surut tetapi sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda. Tipe ini banyak terjadi di Selat Kalimantan dan pantai utara Jawa Barat.

4. Pasang surut campuran condong harian ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*)

Dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut tetapi tinggi dan periodenya berbeda. Tipe pasang surut ini banyak terjadi di Indonesia bagian Timur.



Gambar 2.4 Tipe Pasang Surut (Triadmodjo, 1999)

Tipe pasang surut juga dapat ditentukan secara kuantitatif dengan bilangan formzahl. Bilangan formzahl adalah bilangan yang dihitung dari nilai perbandingan antara amplitudo (tinggi gelombang) komponen harmonik pasang surut tunggal utama dan amplitudo komponen harmonik pasang surut ganda utama, secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$F = \frac{O_1 + K_1}{M_2 + S_2} \quad (2.1)$$

Dimana, F = bilangan Formzahl

O_1 = amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan gaya tarik bulan

K_1 = amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan gaya tarik bulan dan matahari

M_2 = komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan gaya tarik bulan

S_2 = amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan gaya tarik matahari.

Tipe pasang surut berdasarkan bilangan Formzahl adalah sebagai berikut (Pariwono, 1998):

- $F < 0.25$ = pasang surut harian ganda
- $0.26 < F < 1.5$ = pasang surut campuran condong harian ganda
- $1.5 < F < 3$ = pasang surut campuran condong harian tunggal
- $F > 3$ = pasang surut harian tunggal

Ketinggian rentang pasang surut (*tidal range*) sangat berpengaruh terhadap proses dinamika pesisir karena menentukan letak garis kesamaan rentang pasang surut dan garis kesamaan pasangannya 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).

2.9 Strategi Pengelolaan Estuari berdasarkan Kualitas Air

Sumberdaya pesisir dan laut memiliki manfaat yang cukup besar sehingga banyak aktivitas manusia yang bertujuan untuk memanfaatkan sumber daya 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 tragedi 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 Peraturan 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 tahun 2007 tentang pengelolaan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil, terdapat hirarki perencanaan pesisir dan pulau-pulau kecil, yaitu:

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.

2.10 Model Hidrodinamika

Simulasi model hidrodinamika pada model dilakukan untuk mengetahui perilaku hidrodinamika air terhadap berbagai macam fungsi gaya, misalnya kondisi angin tertentu dan muka air yang sudah ditentukan di *open model boundaries*.

Hydrodynamic module mensimulasi perbedaan muka air dan arus dalam menghadapi berbagai fungsi gaya di danau, estuari dan pantai. Simulasi model hidrodinamika dilakukan untuk mendapatkan gambaran pola dan kecepatan arus serta elevasi muka air di muara Sungai Welang (Selat Madura). Persamaan yang

mendasari pergerakan massa air tersebut yaitu persamaan kontinuitas dan persamaan momentum (DHI, 2007).

Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t} \quad (2.2)$$

Persamaan momentum pada arah x

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{u^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{uv}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gu\sqrt{u^2 + v^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] \\ - \Omega_v - fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = 0 \end{aligned} \quad (2.3)$$

Persamaan momentum pada arah y

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{v^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{uv}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gv\sqrt{u^2 + v^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] \\ - \Omega_u - fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} (p_a) = 0 \end{aligned} \quad (2.4)$$

Dimana, ζ = elevasi muka air (m)

t = variabel waktu (s)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

x dan y = koordinat kartesian (m)

u dan v = komponen kecepatan dalam arah x dan y ($m^3/s/m$)

$f(V)$ = faktor friksi angin

P_a = tekanan atmosfer ($kg/m/s^2$)

ρ_w = densitas air (kg/m^3)

Ω = parameter coreolis

h = kedalaman perairan (m)

d = variasi kedalaman terhadap waktu (m)

C = koefisien resistan chezy (m/s)

$\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$ = koefisien shear stress efektif

V, V_x, V_y = kecepatan angin (m/s)

2.11 Model ECO Lab

Modul ECO Lab adalah modul yang cocok untuk pemodelan ekologi. Pemodelan ekologi yang dapat dimodelkan oleh ECO Lab adalah kualitas air, eutrofikasi, logam berat, dan ekologi secara umum. 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, 2014). Persamaan yang digunakan untuk menganalisis data kualitas air dengan ECO Lab adalah sebagai berikut:

$$P_c = \frac{dc}{dt} = \sum_{i=1}^n process_i \quad (2.5)$$

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:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + w \frac{\partial c}{\partial z} = D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} + S_c + P_c \quad (2.6)$$

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:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = AD_c + P_c \quad (2.7)$$

Dimana, AD_c adalah angka perubahan konsentrasi akibat adanya adveksi (berdasarkan hidrodinamika), dan dispersi termasuk *source* dan *sinks* (Suntoyo *et al.*, 2015).

Penelitian ini akan mensimulasikan sebaran beberapa parameter kualitas air untuk mengetahui pencemaran air akibat pembuangan limbah industri di Sungai Welang. Berikut persamaan yang digunakan untuk menghitung tiap parameter dalam ECO Lab:

1. DO, COD, dan TSS

Persamaan yang digunakan untuk menghitung DO, COD, dan TSS dalam perairan adalah:

$$\frac{dDO}{dt} = \frac{dCOD}{dt} = \frac{dTSS}{dt} = \text{reaeration} - \text{BODdecay} + \text{photosynthesis} - \text{respiration} - \text{sediment oxygen demand} \quad (2.8)$$

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 (DHI, 2014).

2. BOD

Persamaan yang digunakan untuk menghitung BOD dalam perairan adalah:

$$\frac{dBOD}{dt} = -\text{BOD decay} \quad (2.9)$$

Dimana *BOD decay* adalah besarnya pengurangan material organik dalam perairan akibat adanya pembusukan yang dilakukan oleh mikroorganisme dengan menggunakan oksigen (DHI, 2014).

3. Amonia

Persamaan yang digunakan untuk menghitung amonia dalam perairan adalah:

$$\begin{aligned} \frac{dNH_3}{dt} = & +\text{ammonium yield from BOD decay} \\ & - \text{transformation of ammonium to nitrate} \\ & - \text{ammonium uptake by plants} \\ & - \text{ammonium uptake by bacteria} \\ & + \text{heterotroph respiration} \end{aligned} \quad (2.10)$$

Dimana, *ammonium yield from BOD decay* adalah amonia yang dihasilkan dari pengurangan materi organik dalam perairan, *transformation of ammonium to nitrate* adalah perubahan amonia menjadi nitrat, *ammonium uptake by plants* adalah besarnya amoniak yang diserap oleh tanaman, *ammonium uptake by bacteria* adalah besarnya amoniak yang diserap oleh bakteri, *heterotroph respiration* merupakan respirasi organisme heterotrof (DHI, 2014).

4. Krom dan Sulfida

Persamaan yang digunakan untuk menghitung krom dan sulfida dalam perairan adalah:

$$\frac{dCrom_{ss}}{dt} = \frac{dS_{ss}}{dt} = prss - sessv - ressv \quad (2.11)$$

Dimana, *prss* merupakan materi tersuspensi yang diproduksi dalam kolom air dengan produksi primer, *sessv* merupakan materi tersuspensi yang dipengaruhi oleh proses sedimentasi, dan *ressv* merupakan sedimen dapat tersuspensi kembali saat kecepatan arus melebihi nilai kritis (DHI, 2014).

(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

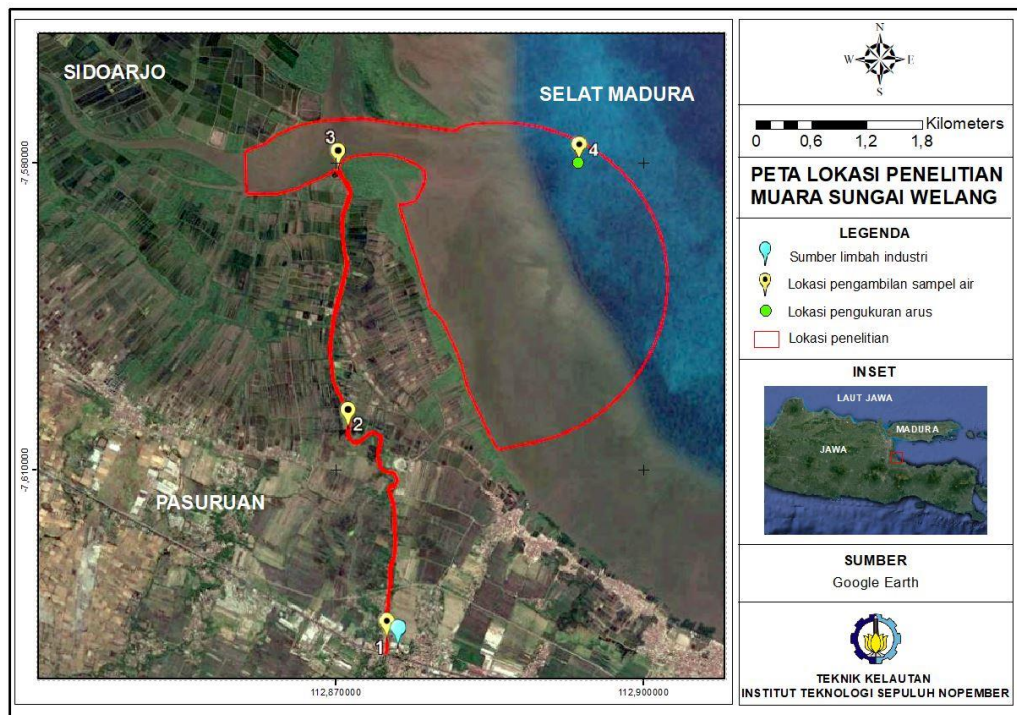
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi

Penelitian dilaksanakan selama lima bulan yaitu Juni 2019 hingga Desember 2019. Pengukuran secara langsung di lapangan dilaksanakan pada November 2019. Pengukuran langsung di lapangan meliputi pengambilan sampel kualitas air, pengukuran batimetri, dan arus. Pengambilan sampel kualitas air dilaksanakan pada 10 dan 14 November 2019. Pengukuran batimetri dan arus dilaksanakan pada 13 November 2019.

Lokasi penelitian berada di muara Sungai Welang (Gambar 3.1). Pengambilan sampel kualitas air dilakukan pada 4 stasiun yang berada di sungai hingga pantai. Stasiun 1 berada di dekat sumber limbah industri, stasiun 2 berada dekat dengan daerah budidaya tambak, stasiun 3 yang berada di muara sungai, dan stasiun 4 yang berada di pantai (Selat Madura). Pengukuran arus dilakukan di stasiun 4 yang berada di pantai.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian di Muara Sungai Welang (Google Earth, 2019)

3.2 Alur Penelitian

Alur penelitian dalam permodelan kualitas air dan upaya pengendalian pencemaran di Sungai Welang adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Tahap ini meliputi mencari serta mempelajari buku, jurnal, dan laporan-laporan terdahulu yang berkaitan dengan tema dan permasalahan yang akan diteliti. Hal ini berguna untuk memperjelas permasalahan yang ada, melengkapi data, dan mendapatkan data tambahan sebagai data pembandingan.

2. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer data dan sekunder. Data primer merupakan data yang diperoleh dari pengukuran dan pengambilan sampel di lapangan. Data primer yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Data Parameter Kualitas Air

Data parameter kualitas air diperoleh dengan pengambilan sampel secara langsung di lapangan dan selanjutnya dilakukan uji laboratorium. Parameter yang digunakan dalam analisis kualitas air akibat pembuangan limbah industri penyamakan kulit berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup nomer KEP 51-/MENLH/10/1995 adalah DO, BOD, COD, TSS, amonia, krom dan sulfida. Alat yang digunakan untuk mengambil sampel air adalah GPS, botol Nensen, botol tempat sampel air, dan *cooler box*. Bahan yang digunakan dalam pengambilan sampel air adalah aquades dan tisu untuk membersihkan peralatan. Pengambilan sampel air dilaksanakan pada 10 dan 14 November 2019.

- b. Data Batimetri Muara Welang

Data batimetri Muara Welang diperoleh dengan pengukuran langsung di lapangan. Pengukuran batimetri Muara Welang dilakukan menggunakan alat *echosounder*. Pada prinsipnya *echosounder* ini memancarkan gelombang akustik ke dasar laut, lalu dipantulkan oleh dasar laut dan diterima kembali oleh *echosounder*. Berdasarkan waktu

tempuh gelombang dari transduser–dasar laut–transduser dan cepat rambat gelombang akustik dalam medium air laut akan dapat diketahui kedalaman perairan. Pengukuran batimetri dilaksanakan pada 13 November 2019.

c. Data Arus

Pengukuran arus di lapangan dilakukan dengan menggunakan alat *current meter*. Data arus yang diukur meliputi kecepatan (m/s) dan arah (*degree*). Pengukuran arus di lapangan dilaksanakan pada 13 November 2019.

Data sekunder merupakan data yang didapatkan dari instansi-instansi terkait. Data Sekunder yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Data Batimetri Sungai dan Laut

Data batimetri sungai diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum Sumber Daya Air Provinsi Jawa Timur. Data batimetri Selat Madura merupakan data citra satelit yang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Data batimetri sungai dan batimetri laut yang digunakan merupakan data tahun 2018.

b. Data Pasang Surut

Data pasang surut merupakan data prediksi pasang surut dari hasil pengukuran langsung di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Grati, Pasuruan pada tahun 2014. Data yang digunakan adalah data prediksi pasang surut tahun 2019.

c. Data Angin

Data angin diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Perak II Surabaya. Data yang digunakan adalah data angin tahun 2019.

d. Data Debit Sungai

Data debit sungai diperoleh dari Unit pelayanan Teknis (UPT) Pengelolaan Sumber Daya Air Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Pasuruan. Data yang digunakan merupakan data debit sungai tahun 2018.

3. Penginputan data

Data yang diinput dalam permodelan kualitas air yaitu data batimetri, pasang surut, angin, debit sungai dan data parameter kualitas air (DO, BOD, COD, TSS, amonia, krom, dan sulfida)

4. Permodelan Batimetri

Permodelan batimetri dengan melakukan *meshing* menggunakan modul *mesh generator* pada MIKE Zero. Permodelan Batimetri menggunakan data kedalaman perairan dengan koordinat sistem WGS 1984 dalam format *.xyz. Penentuan kondisi batas pemodelan juga dilakukan dalam tahap ini.

5. Permodelan Hidrodinamika

Running atau pacu modul hidrodinamika menggunakan software MIKE21 di muara Sungai Welang. Permodelan dilakukan untuk melihat perilaku air yang dipengaruhi berbagai fungsi gaya yang terjadi di suatu perairan. Simulasi hidrodinamika menggunakan bantuan modul *flow model 21*. Dalam model *flow model 21* dibutuhkan input *Domain*, *Time*, dan *Module Selection*.

6. Permodelan ECO Lab

Permodelan sebaran kualitas air dilakukan menggunakan modul ECO Lab dalam software MIKE21. Permodelan ECO Lab adalah pemodelan lanjutan dari pemodelan batimetri dan pemodelan hidrodinamika yang telah dilakukan sebelumnya.

7. Validasi pemodelan hidrodinamika dan ECO Lab

Validasi model dilakukan dengan melakukan kalibrasi antara data hasil pengukuran dengan hasil pemodelan. Hasil yang valid berupa pola penyebaran arus (m/s), elevasi muka air laut (m) dan penyebaran indikator kualitas air (mg/L). Metode kalibrasi yang digunakan untuk pemodelan hidrodinamika adalah *root mean square error* (RMSE) dan *mean absolute percentage error* (MAPE). Sedangkan kalibrasi untuk modul ECO Lab menggunakan MAPE saja karena pengambilan sampel hanya dilakukan sekali di satu titik. Persamaan RMSE adalah sebagai berikut (Wei, 2006):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{l=1}^M e_l^2} \quad (3.1)$$

dimana, M merupakan banyaknya data dan e_l didapat dari persamaan berikut ini:

$$e_l = Z_{n+l} - \hat{Z}_n(l), \quad (3.2)$$

dimana, Z_{n+l} merupakan data pengukuran dan $\hat{Z}_n(l)$, merupakan data pemodelan. Persamaan untuk menghitung nilai MAPE adalah sebagai berikut:

$$MAPE = \left(\frac{1}{M} \sum_{l=1}^M \left| \frac{e_l}{Z_{n+l}} \right| \right) 100\% \quad (3.3)$$

8. Analisa sebaran parameter kualitas air

Analisa sebaran parameter kualitas air dilakukan dengan membandingkan hasil uji kualitas air di laboratorium, dan hasil permodelan kualitas air menggunakan software MIKE21 dengan modul ECO Lab. Analisa kriteria baku mutu muara berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air dan berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air untuk Biota.

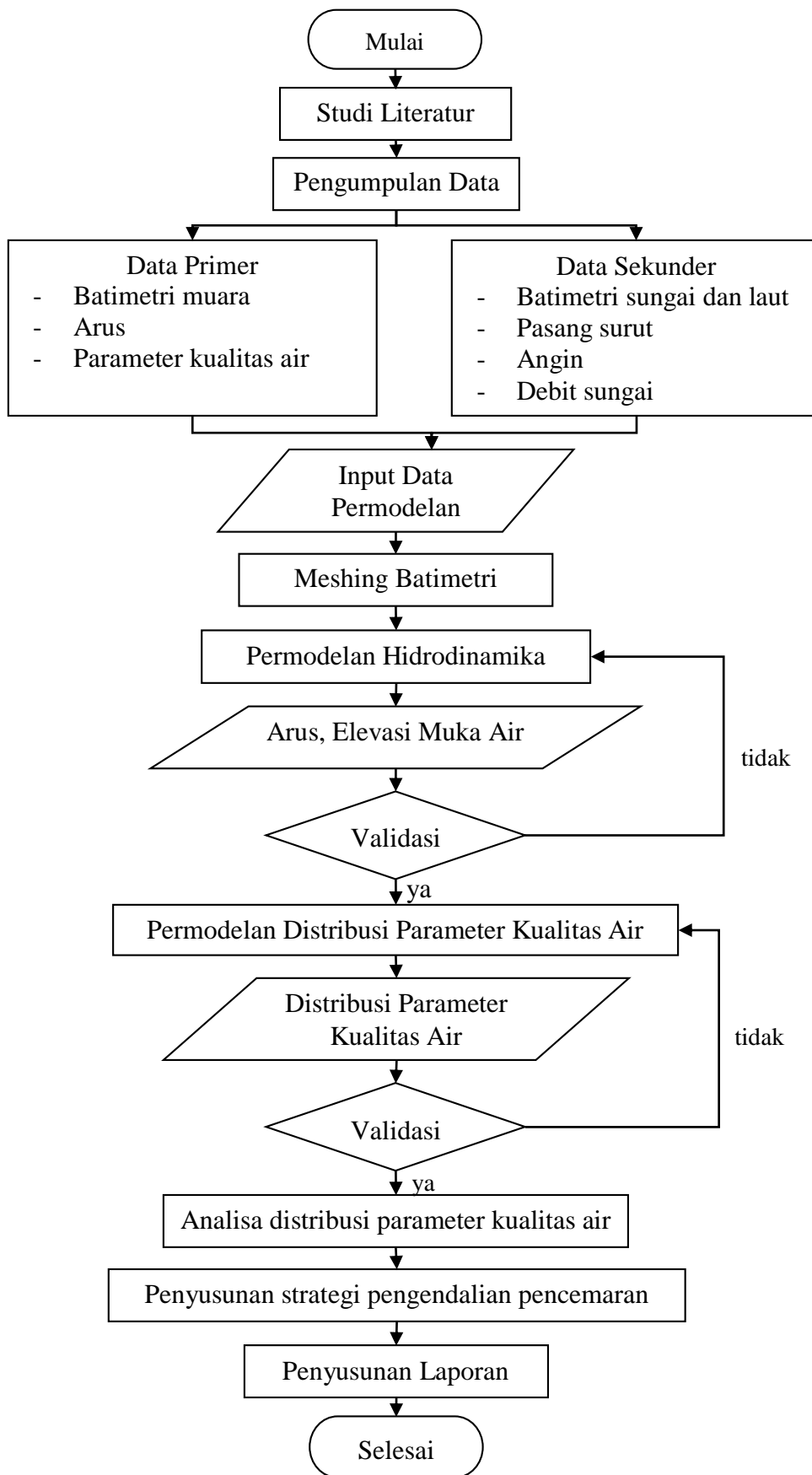
9. Penyusunan upaya pengendalian pencemaran

Penyusunan upaya pengendalian pencemaran dilakukan dengan cara mengidentifikasi masalah, kemudian menentukan solusi pemecahan masalah.

10. Melakukan analisa dan pembahasan hasil pemodelan kualitas air untuk penyusunan laporan akhir

11. Selesai.

Tahapan-tahapan dari penelitian tersebut dapat dilihat dalam diagram alir pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian (Pengolahan data, 2019)



BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Umum Muara Sungai Welang

Sungai Welang merupakan salah satu sungai besar di Jawa Timur yang melintasi Kabupaten Malang, Kabupaten Pasuruan, serta Kota Pasuruan. Sungai ini mengalir dari Kecamatan Lawang, Kabupaten Malang dan bermuara di Selat Madura di Kecamatan Kraton sebelah barat Kota Pasuruan. DAS Welang dari hulu ke muara memiliki luas 518 km² dengan panjang sungai utama yaitu 36 km dan lebar rata-rata 25 m. Lokasi penelitian merupakan wilayah Sungai Welang bagian hilir yang berdekatan dengan industri penyamakan kulit hingga ke laut. Secara geografis lokasi penelitian terletak pada koordinat -7.62959° hingga -7.57685° dan 112.861227° hingga 112.902381° (UPT PSDA Pasuruan).

Daerah aliran Sungai Welang bagian hilir merupakan daerah pemukiman padat penduduk. Berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 32 Tahun 2013, kualifikasi Sungai Welang termasuk ke dalam baku mutu air kelas tiga yaitu air yang peruntukannya digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, mengairi pertanian dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Daerah aliran Sungai Welang bagian hilir merupakan daerah pemukiman, pertanian serta budidaya ikan tawar dan payau. Sebagian besar penduduk bermata pencaharian sebagai petani tambak dan nelayan. Komoditas utama yang dibudidayakan oleh petani tambak adalah ikan mujair, bader dan udang. Penduduk yang bermata pencarian sebagai nelayan mencari kupang di daerah Muara Welang. Kupang merupakan hewan laut semacam kerang kecil yang hidup di dasar perairan yang berlumpur.

Keberadaan industri penyamakan kulit di daerah aliran Sungai Welang bagian hilir dapat menjadi sumber pencemaran di muara. Limbah cair hasil produksi dari perusahaan ini dibuang ke Sungai Welang. Limbah dibuang sekitar 2-3 hari sekali, namun jika jumlah produksi sedang meningkat industri ini akan membuang limbahnya setiap hari ke Sungai Welang. Limbah industri dibuang pada malam hari

sekitar pukul 19.00-23.00. Limbah cair yang dibuang ke sungai menyebabkan air sungai berwarna putih, keruh, berbusa serta menimbulkan bau busuk (Gambar 4.1). Pembuangan limbah industri penyamakan kulit ke Sungai Welang membuat warga sekitar mengeluh karena menyebabkan kenyamanan lingkungan menjadi terganggu. Menurut keterangan warga sekitar ikan-ikan di sungai dan tambak warga juga mati akibat limbah cair tersebut.



Gambar 4.1 Limbah Industri Penyamakan Kulit yang Mencemari Sungai Welang

4.2 Hasil Pengukuran Kualitas Air di Muara Welang

Pengambilan sampel air sebelum pembuangan limbah dilaksanakan pada 10 November 2019 saat kondisi air pasang. Pengukuran kualitas air dilakukan dengan mengambil sampel air di 4 stasiun. Lokasi pengambilan sampel air berada di daerah sungai, muara dan laut. Stasiun 1 berada di sungai dekat dengan sumber pencemaran, stasiun 2 berada di daerah sungai, stasiun 3 berada di muara dan stasiun 4 berada di daerah laut. Sampel air tersebut kemudian dibawa ke laboratorium untuk dilakukan pengujian. Konsentrasi parameter kualitas air hasil pengukuran lapangan sebelum adanya pembuangan limbah ditunjukkan Tabel 4.1.

Konsentrasi DO tertinggi mencapai 4.2 mg/L berada di stasiun 3, sedangkan konsentrasi terendah yaitu 3.6 mg/L di stasiun 4. Konsentrasi BOD tertinggi di stasiun 1 dan 4 dengan nilai 12 mg/L, sedangkan nilai terendah berada di stasiun 3 yaitu 8 mg/L. Konsentrasi COD tertinggi di stasiun 4 yaitu 25 mg/L dan terendah di stasiun 3 yaitu 16 mg/L. Konsentrasi TSS tertinggi berada di stasiun 4 dengan nilai 200 mg/L, sedangkan terendah berada di stasiun 1 yaitu 38 mg/L. Konsentrasi amonia tertinggi yaitu 1.38 mg/L berada di stasiun 2, sedangkan konsentrasi amonia terendah yaitu 0.50 mg/L terdapat di stasiun 1. Konsentrasi krom tertinggi berada di stasiun 2 dengan nilai 0.031 mg/L, sedangkan konsentrasi krom terendah berada di stasiun 3 dengan nilai 0.015 mg/L. Konsentrasi sulfida tertinggi berada di titik 1 dengan nilai 0.0029 mg/L sedangkan konsentrasi terendah berada di stasiun 2 dan 4 yaitu 0.0016 mg/L.

Tabel 4.1 Konsentrasi Parameter Kualitas Air Sebelum Pembuangan Limbah Industri di Muara Welang

No	Parameter Kualitas Air	Konsentrasi Parameter (mg/L)				Baku Mutu
		Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3	Stasiun 4	
1	Dissolved oxygen	3.9	3.8	4.2	3.6	< 3
2	Biochemical oxygen demand	12	10	8	12	6
3	Chemical oxygen demand	24	21	16	25	50
4	Total suspended solids	38	92	189	200	400
5	Amonia	0.5	1.38	0.93	0.67	0.3
6	Krom	0.023	0.031	0.015	0.027	0.05
7	Sulfida	0.0029	0.0016	0.0027	0.0016	0.01

Hasil pengukuran parameter kualitas air sebelum adanya pembuangan limbah industri pada 4 stasiun menunjukkan konsentrasi DO, COD, TSS, krom, dan sulfida masih memenuhi baku mutu berdasarkan PP No. 82 Tahun 2001 dan KepmenLH No 51 Tahun 2004. Dalam peraturan PP No. 82 Tahun 2001 disebutkan bahwa batas konsentrasi DO adalah lebih besar dari 3 mg/L, COD kurang dari 50 mg/L, TSS kurang dari 400 mg/L, dan krom kurang dari 0.05 mg/L. Berdasarkan KepmenLH No 51 Tahun 2004 nilai baku mutu sulfida kurang dari 0.01 mg/L. Sedangkan, konsentrasi parameter BOD dan amonia menunjukkan nilai yang telah

melebihi standar baku mutu. Baku mutu untuk parameter BOD berdasarkan PP No. 82 Tahun 2001 adalah tidak lebih dari 6 mg/L, dan baku mutu amonia KepmenLH No 51 Tahun 2004 adalah tidak lebih dari 0.005 mg/L.

Pengambilan sampel air setelah dilakukan pembuangan limbah dilaksanakan pada 14 November 2019. Tabel 4.2 menunjukkan konsentrasi parameter kualitas air di stasiun 1 setelah adanya pembuangan limbah. Konsentrasi DO dan krom setelah adanya pembuangan limbah menunjukkan nilai yang lebih rendah dibandingkan sebelum adanya pembuangan limbah. Sedangkan konsentrasi BOD, COD, TSS, amonia, dan sulfida memiliki konsentrasi yang lebih tinggi daripada sebelum adanya pembuangan limbah. Hasil pengukuran menunjukkan konsentrasi DO, BOD, COD, TSS, amonia, dan sulfida tidak memenuhi baku mutu. Sedangkan konsentrasi krom masih memenuhi baku mutu. Konsentrasi parameter kualitas air di stasiun 1 tidak memenuhi baku mutu karena berada dekat tempat pembuangan limbah industri penyamakan kulit. UNEP (1991) menyebutkan limbah yang dihasilkan dari proses penyamakan kulit akan berpengaruh terhadap air terutama pada BOD, COD, SS, alkalinitas, sulfida, N-organik, N-Amonia, lemak, dan krom.

Tabel 4.2 Konsentrasi Parameter Kualitas Air Setelah Pembuangan Limbah Industri pada Stasiun 1

No	Parameter Kualitas Air	Konsentrasi Parameter (mg/L)	
		Stasiun 1	Baku Mutu
1	Dissolved oxygen	0	< 3
2	Biochemical oxygen demand	28	6
3	Chemical oxygen demand	54	50
4	Total suspended solids	879	400
5	Amonia	38.78	0.3
6	Krom	0.027	0.05
7	Sulfida	0.016	0.01

4.3 Pemodelan Batimetri Muara Welang

Pemodelan batimetri merupakan tahap awal dalam pemodelan kualitas air di Muara Welang. Pengukuran batimetri di lapangan dilakukan pada tanggal 13 November 2019. Peta Batimetri Muara Welang ditunjukkan pada Gambar 4.2.

Gambar tersebut menunjukkan kedalaman di Muara Welang berkisar antara 0.1-7.0 meter.

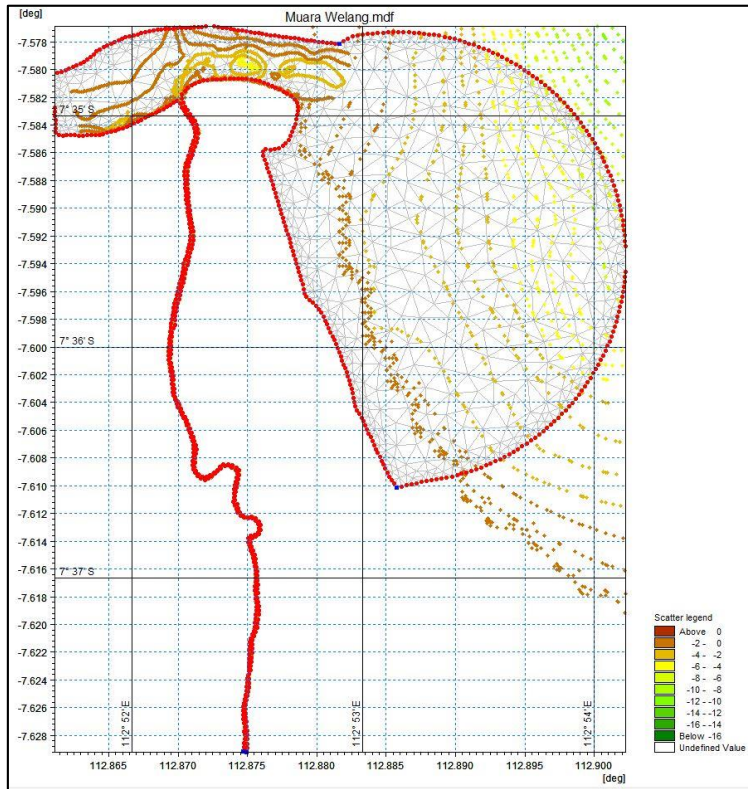


Gambar 4.2 Peta Batimetri Muara Welang

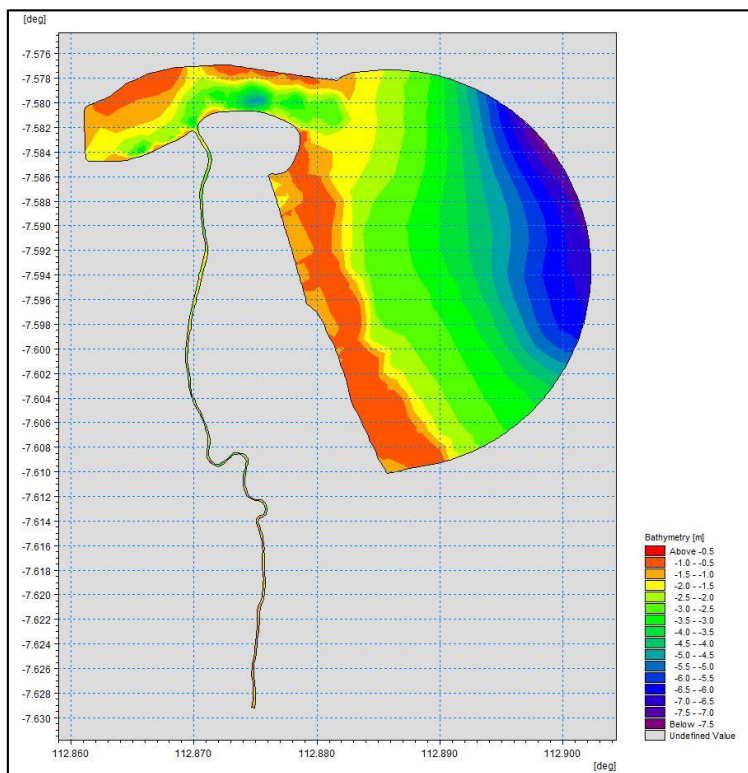
Data batimetri hasil pengukuran tersebut kemudian dijadikan sebagai domain model. Pemodelan batimetri menggunakan *mesh generator* pada MIKE21. Input data yang digunakan adalah data batimetri dan data batas darat Muara Welang dalam format *.xyz. Pemodelan batimetri menggunakan grid elemen dengan jumlah elemen 2105 dan jumlah titik 1499 (Gambar 4.3). Hasil *meshing* batimetri Muara Welang ditunjukkan pada Gambar 4.4.

4.4 Kondisi Batas Muara Welang

Pemodelan batimetri Muara Welang menggunakan 4 kondisi batas seperti yang ditunjukkan Tabel 4.2. Kondisi batas dalam pemodelan ini yaitu laut, darat, dan sungai. Input data yang digunakan dalam kondisi batas yaitu data debit sungai, pasang surut, kecepatan dan arah angin. Kondisi batas pemodelan Muara Welang ditunjukkan pada Gambar 4.5.



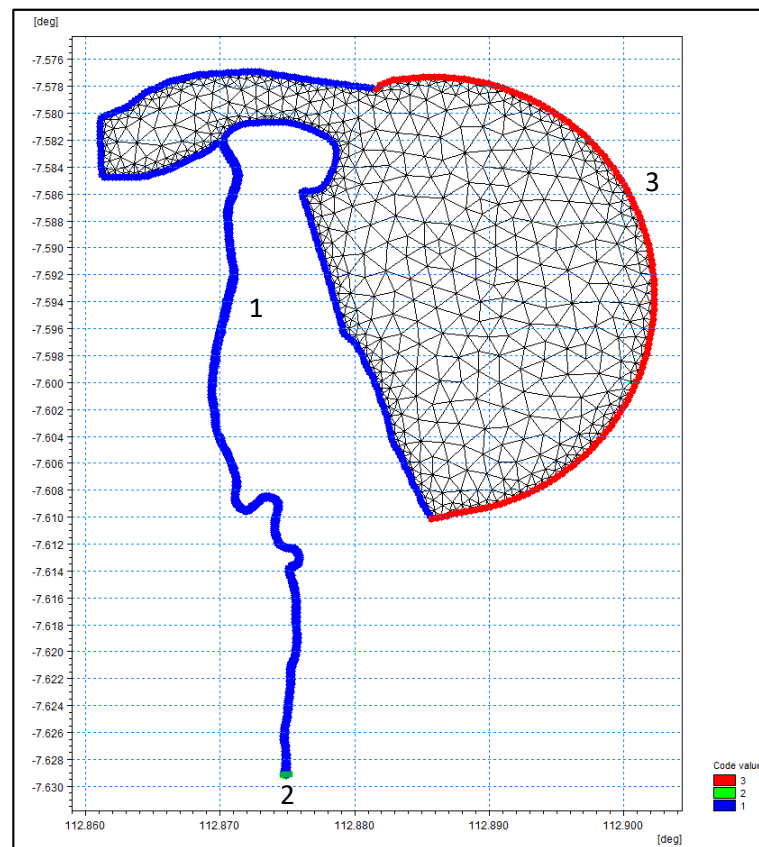
Gambar 4.3 Pemodelan Grid di Muara Welang



Gambar 4.4 Meshing Batimetri di Muara Welang

Tabel 4.3 Kondisi Batas Pemodelan Muara Welang

Kondisi Batas	Tipe	Input
1	Land	-
2	Specified discharge	Data debit sungai
3	Specified level	Data pasang surut



Gambar 4.5 Kondisi Batas Pemodelan Muara Welang

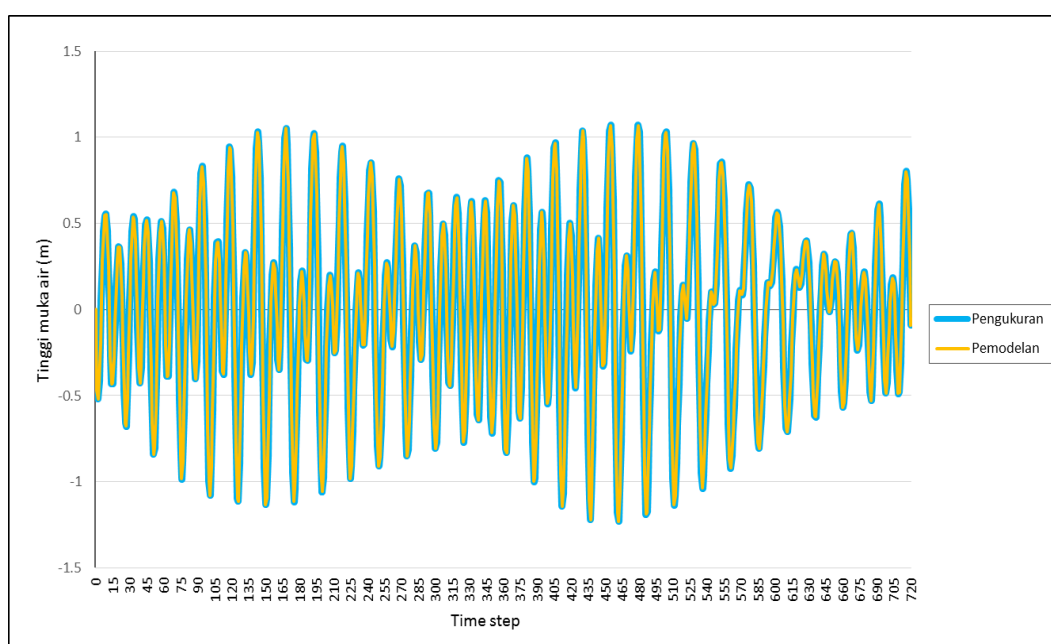
4.5 Validasi Pemodelan Hidrodinamika

Pengujian akurasi pemodelan hidrodinamika dilakukan dengan membandingkan data pasang surut dan data arus hasil pengukuran langsung dengan data yang diperoleh dari hasil pemodelan hidrodinamika menggunakan MIKE21.

4.5.1 Validasi Model Pasang Surut

Pemodelan pasang surut dilakukan mulai tanggal 10 November 2019 pukul 00:00 hingga tanggal 10 Desember 2019 pukul 00.00. Validasi pasang surut

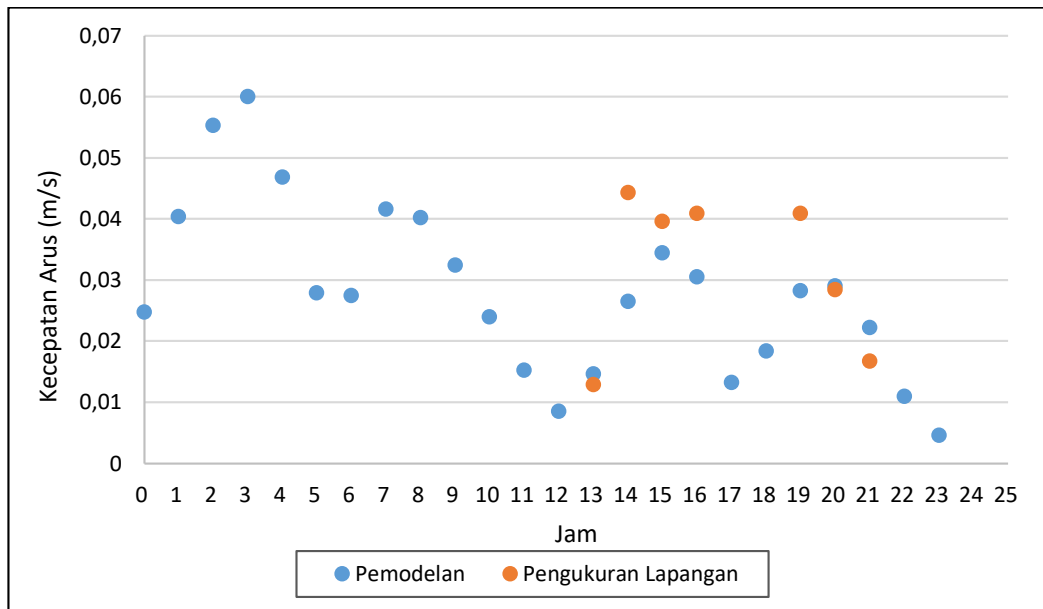
dilakukan dengan membandingkan data hasil pemodelan dengan data prediksi dari hasil pengamatan langsung. Gambar 4.6 menunjukkan perbandingan antara pasang surut hasil pemodelan dengan data pasang surut hasil pengamatan langsung pada stasiun 4. Gambar tersebut menunjukkan selisih antara data pasang surut hasil pemodelan dan pengamatan sangat kecil. Hasil validasi pasang surut menunjukkan nilai RMSE sebesar 0.012 dan nilai MAPE sebesar 0.706 %. Berdasarkan nilai tersebut dapat diketahui bahwa model hidrodinamika untuk pasang surut sudah sangat akurat.



Gambar 4.6 Perbandingan Data Pasang Surut Pengukuran dengan Hasil Pemodelan

4.5.2 Validasi Model Arus

Validasi kecepatan arus dilakukan dengan membandingkan data hasil pemodelan dengan data pengukuran langsung. Pengukuran data arus di lapangan dilakukan di stasiun 4 menggunakan *current meter*. Pengukuran arus dilakukan pada 14 November 2019 pukul 12:00-16:00 dan 19:00-21:00 WIB. Gambar 4.7 menunjukkan perbandingan antara kecepatan arus hasil pemodelan mulai *time step* ke-96 hingga 119 dengan kecepatan arus hasil pengukuran langsung di lapangan. Hasil validasi kecepatan arus menunjukkan nilai RMSE sebesar 0.0096 dan nilai MAPE sebesar 22.56%.



Gambar 4.7 Perbandingan Data Pengukuran Arus di Lapangan dengan Hasil Pemodelan

4.6 Validasi Model Kualitas Air

Validasi model kualitas air dilakukan dengan membandingkan hasil pemodelan dengan konsentrasi parameter-parameter kualitas air hasil pengukuran lapangan. Hasil validasi untuk parameter kualitas air ditunjukkan Tabel 4.4-4.10. Hasil validasi untuk parameter DO menunjukkan nilai MAPE terendah di stasiun 4 dengan besar eror 0.17%, sedangkan eror tertinggi di stasiun 2 sebesar 32.48%. Hasil validasi untuk parameter BOD menunjukkan eror terendah di stasiun 3 dengan besar eror 5.21%, sedangkan eror tertinggi di stasiun 2 sebesar 20.39%. Hasil validasi untuk parameter COD menunjukkan persentase eror pada semua stasiun kurang dari 20%. Error terendah di stasiun 3 yaitu 3.72%, sedangkan eror tertinggi di stasiun 2 yaitu 14.94%. Hasil validasi untuk parameter TSS menunjukkan eror terendah di stasiun 1 dengan besar eror 4.37%, sedangkan eror tertinggi di stasiun 3 sebesar 28.29%. Hasil validasi untuk parameter amonia menunjukkan persentase eror terendah di stasiun 1 dengan besar eror 1.44%, sedangkan eror tertinggi di stasiun 3 sebesar 26.52%. Hasil validasi untuk parameter krom menunjukkan persentase eror terendah di stasiun 1 dengan besar eror 6.07%, sedangkan eror tertinggi di stasiun 2 sebesar 28.95%. Hasil validasi

untuk parameter sulfida menunjukkan persentase eror terendah di stasiun 4 dengan besar eror 2.15%, sedangkan eror tertinggi di stasiun 2 sebesar 29.63%.

Tabel 4.4 Hasil Validasi Pemodelan DO dengan Pengukuran Langsung

Stasiun	Hasil Pengukuran (mg/L)	Hasil Pemodelan (mg/L)	Eror (%)
1	3.9	2.78	28.73
2	3.8	5.03	32.48
3	4.2	4.71	13.63
4	3.6	3.59	0.17

Tabel 4.5 Hasil Validasi Pemodelan BOD dengan Pengukuran Langsung

Stasiun	Hasil Pengukuran (mg/L)	Hasil Pemodelan (mg/L)	Eror (%)
1	12	14.25	18.72
2	10	7.96	20.39
3	8	7.58	5.21
4	12	10.31	14.07

Tabel 4.6 Hasil Validasi Pemodelan COD dengan Pengukuran Langsung

Stasiun	Hasil Pengukuran (mg/L)	Hasil Pemodelan (mg/L)	Eror (%)
1	24	25.66	6.91
2	21	17.86	14.94
3	16	16.59	3.72
4	25	22.11	11.58

Tabel 4.7 Hasil Validasi Pemodelan TSS dengan Pengukuran Langsung

Stasiun	Hasil Pengukuran (mg/L)	Hasil Pemodelan (mg/L)	Eror (%)
1	38	39.66	4.37
2	92	117.21	27.40
3	189	135.54	28.29
4	200	175.52	12.24

Tabel 4.8 Hasil Validasi Pemodelan Amonia dengan Pengukuran Langsung

Stasiun	Hasil Pengukuran (mg/L)	Hasil Pemodelan (mg/L)	Error (%)
1	0.50	0.49	1.44
2	1.38	1.27	8.38
3	0.93	1.18	26.52
4	0.67	0.81	21.48

Tabel 4.9 Hasil Validasi Pemodelan Krom dengan Pengukuran Langsung

Stasiun	Hasil Pengukuran (mg/L)	Hasil Pemodelan (mg/L)	Error (%)
1	0.023	0.024	6.07
2	0.031	0.022	28.95
3	0.015	0.019	27.39
4	0.027	0.029	7.89

Tabel 4.10 Hasil Validasi Pemodelan Sulfida dengan Pengukuran Langsung

Stasiun	Hasil Pengukuran (mg/L)	Hasil Pemodelan (mg/L)	Error (%)
1	0.0029	0.00231	20.30
2	0.0016	0.00207	29.63
3	0.0027	0.00226	16.13
4	0.0016	0.00157	2.15

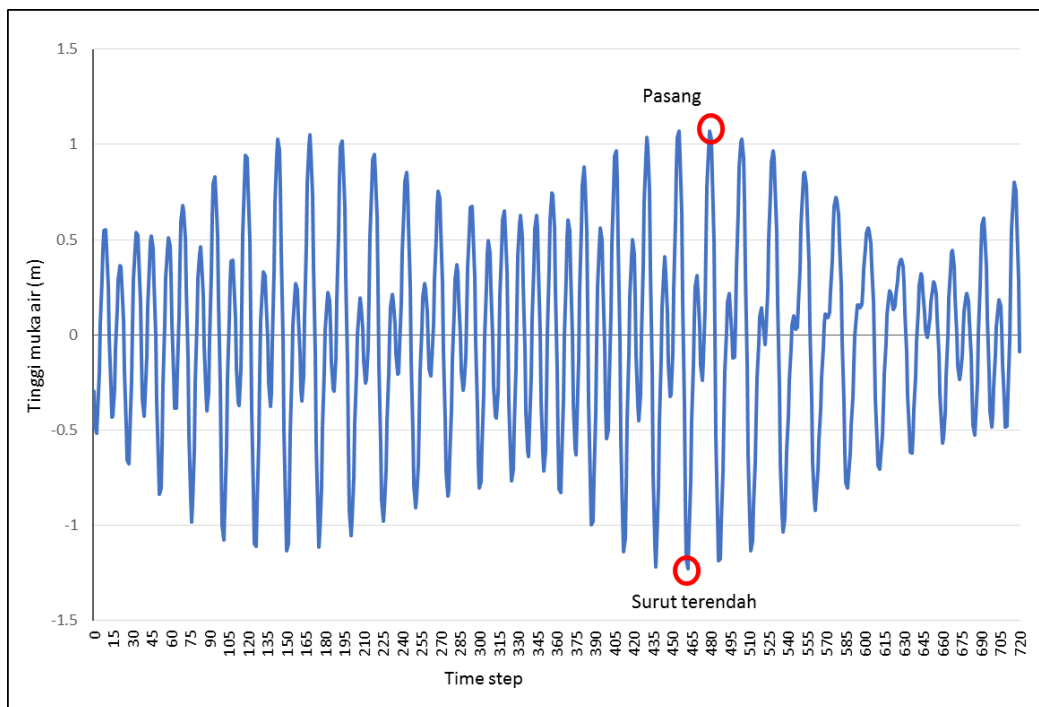
4.7 Pemodelan Hidrodinamika Muara Welang

Simulasi hidrodinamika pada model dilakukan untuk melihat perilaku hidrodinamika terhadap berbagai macam fungsi gaya, misalnya kondisi muka air laut dan angin yang sudah ditentukan di *open model boundaries*. Pemodelan hidrodinamika di Muara Welang dilakukan untuk mengetahui variasi tinggi muka air laut dan aliran arus yang dibangkitkan oleh berbagai macam fungsi gaya seperti pasang surut, angin, dan debit sungai.

Hasil pemodelan pasang surut selama satu bulan di Muara Welang ditunjukkan pada Gambar 4.8. Tipe pasang surut yang terjadi di daerah tersebut

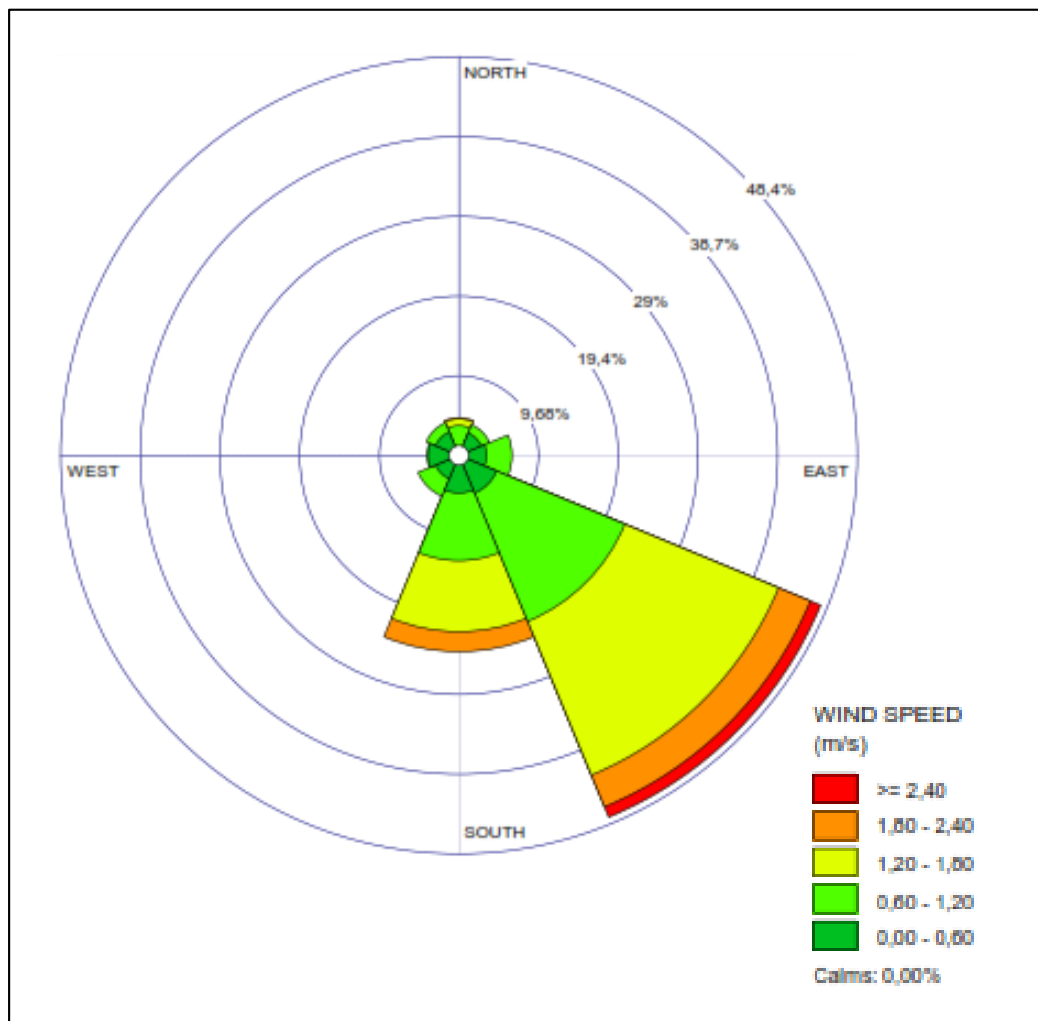
adalah pasang surut condong harian ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*). Kondisi menuju pasang terjadi pada *time step* ke 477 (29 November 2019 pukul 21.00) dengan tinggi muka air 0.78 m. Pasang tertinggi terjadi pada *time step* 479 (29 November 2019 pukul 23.00) dengan tinggi muka air mencapai 1.07 m. Sedangkan kondisi menuju surut terjadi pada *time step* ke 460 (29 November 2019 pukul 04.00) dengan tinggi muka air yaitu -0.88 m dan kondisi surut terendah terjadi pada *time step* 462 (29 November 2019 pukul 06.00) dengan tinggi muka air yaitu -1.23 m.

Dalam pembahasan pemodelan kualitas air digunakan kondisi pasang tertinggi dan surut terendah yang terjadi setelah dilakukan pembuangan limbah industri ke sungai yaitu pada *time step* ke 191 (17 November 2019 pukul 23.00) dengan tinggi muka air yaitu 0.82 m, dan kondisi pasang tertinggi pada *time step* 193 (18 November 2019 pukul 01.00) dengan tinggi muka air mencapai 1.02 m. Sedangkan kondisi menuju surut terjadi pada *time step* ke 198 (18 November 2019 pukul 06.00) dengan tinggi muka air yaitu -0.58 m dan surut terendah menggunakan data pada *time step* ke 200 (18 November 2019 pukul 08.00) dengan tinggi muka air yaitu -1.11 m.



Gambar 4.8 Grafik Hasil Pemodelan Pasang Surut Muara Welang

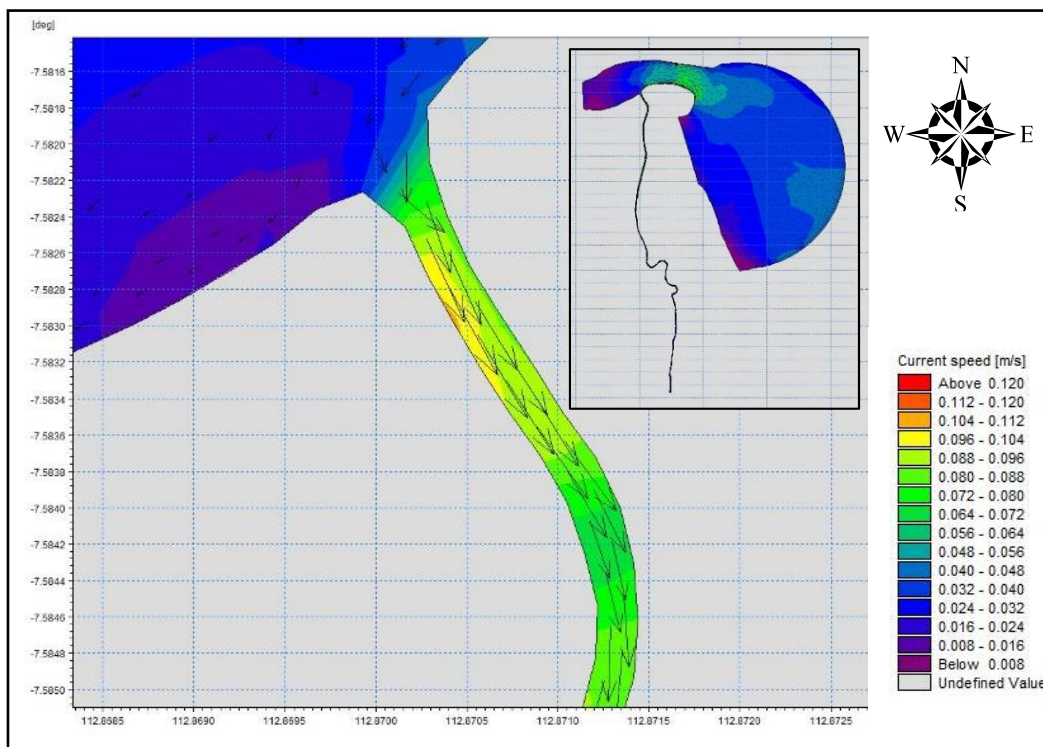
Gambar 4.9 menunjukkan mawar angin pada 10 November-10 Desember 2019 di daerah Muara Welang. Angin dominan bertiup dari Tenggara dengan kecepatan maksimal lebih besar dari 2.4 m/s dengan persentase 1.3% dan kecepatan dominan 1.2-1.6 knot dengan persentase 35.3%. Angin juga ada yang bertiup dari Selatan dengan kecepatan angin maksimal 1.8-2.4 m/s dengan persentase 20.3% dan kecepatan angin dominan 1.0-1.2 m/s dengan persentase 12.2%. Angin dominan yang bertiup dari Tenggara dapat menggerakkan massa air di laut ke barat laut. Hasil pemodelan hidrodinamika juga menunjukkan arus dominan mengalir ke Barat Laut. Gambar 4.11-4.14 menunjukkan vektor arus pada perairan Muara Welang umumnya bergerak menuju ke Barat Laut.



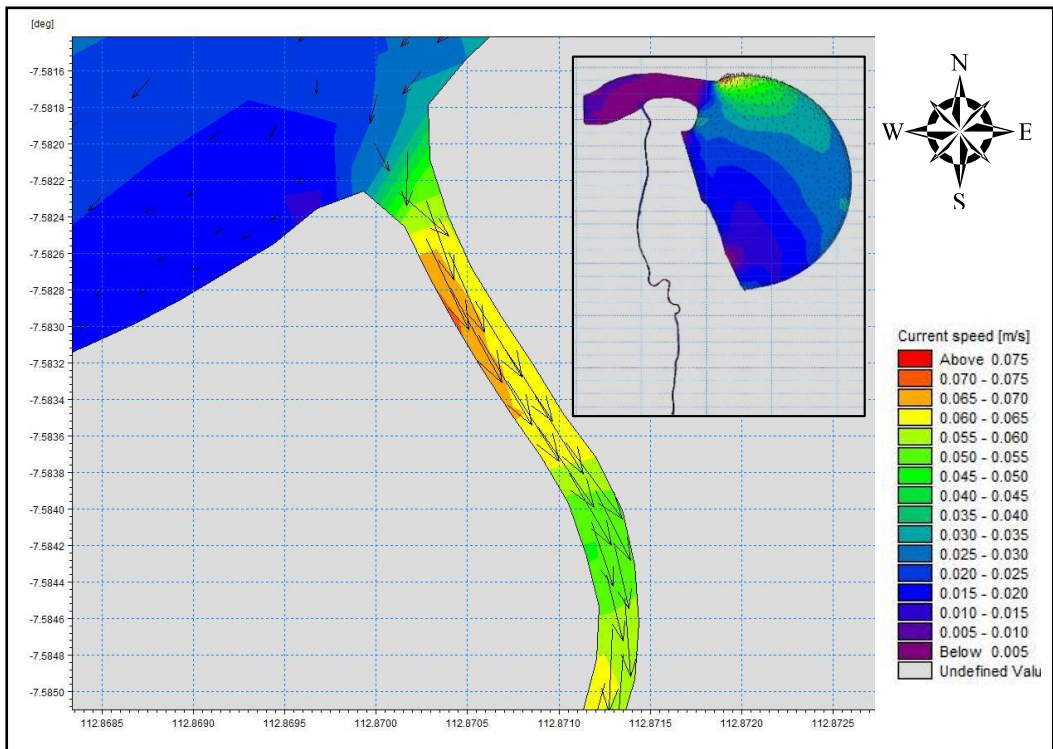
Gambar 4.9 Mawar Angin Hasil Peramalan BMKG untuk Area Muara Welang

Pola arus di Muara Welang saat kondisi menuju pasang dan pasang tertinggi mengalir ke badan sungai. Sedangkan saat kondisi menuju surut dan surut terendah arus mengalir ke arah laut. Saat kondisi menuju pasang pada *time step* 191 kecepatan arus mencapai 0.142 m/s di sungai, 0.107 m/s di muara dan 0.089 m/s di laut (Gambar 4.10). Sementara, saat pasang tertinggi yang terjadi pada *time step* ke 193 kecepatan arus adalah 0.030 m/s di sungai, 0.013 m/s di muara dan 0.076 m/s di laut (Gambar 4.11). Kondisi menuju surut terjadi pada *time step* ke 198 kecepatan arus mencapai 0.643 m/s di sungai, 0.421 m/s di muara dan 0.244 m/s di laut (Gambar 4.12). Sedangkan saat kondisi surut terendah pada *time step* 200 kecepatan arus mencapai 0.77 m/s di sungai, 0.314 m/s di muara dan 0.135 m/s di laut (Gambar 4.13).

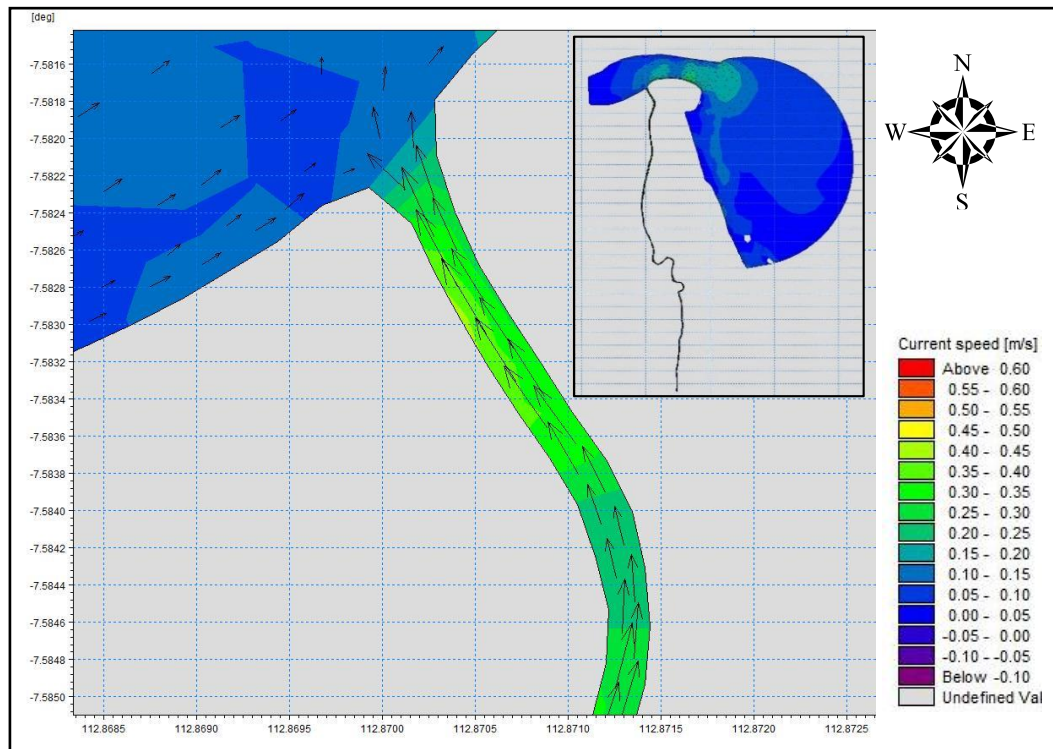
Gambar 4.14 menunjukkan debit sungai di Sungai Welang bagian hilir. Debit Sungai Welang pada 10-18 November 2018 menunjukkan nilai yang relatif rendah antara 0.23-1.97 m³/d. Debit sungai mulai meningkat mencapai 20.86 m³/d pada 19 November hingga Desember 2018. Meningkatnya debit sungai ini disebabkan meningkatnya intensitas hujan yang terjadi di wilayah tersebut.



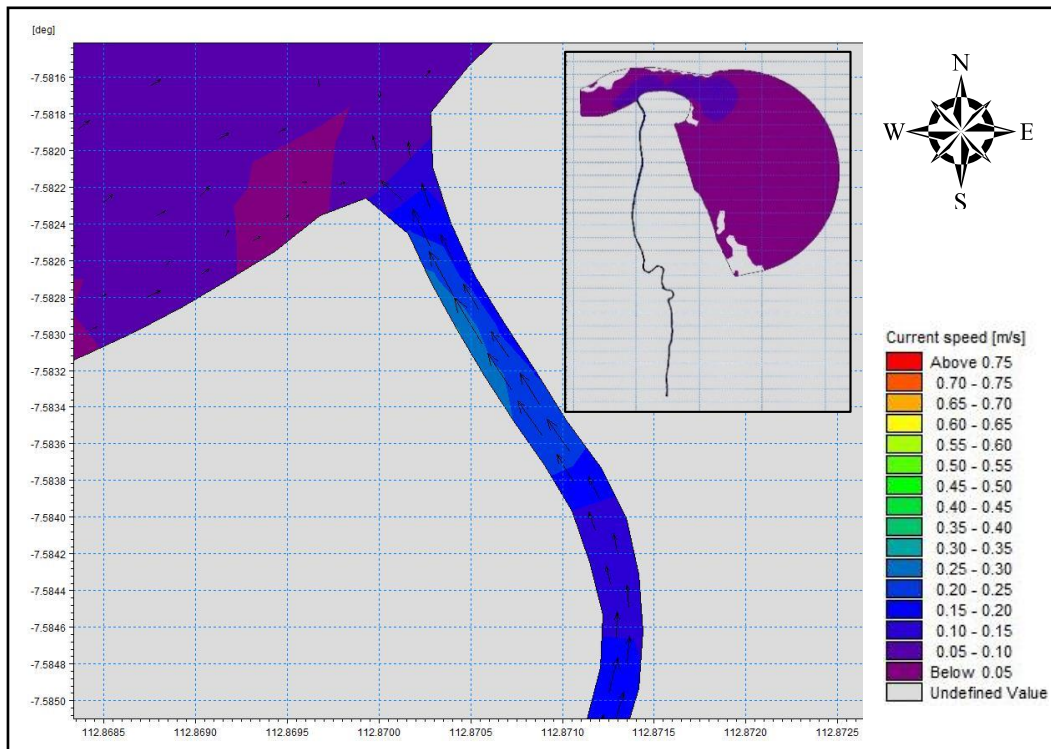
Gambar 4.10 Pola Arus di Muara Welang saat Kondisi Menuju Pasang



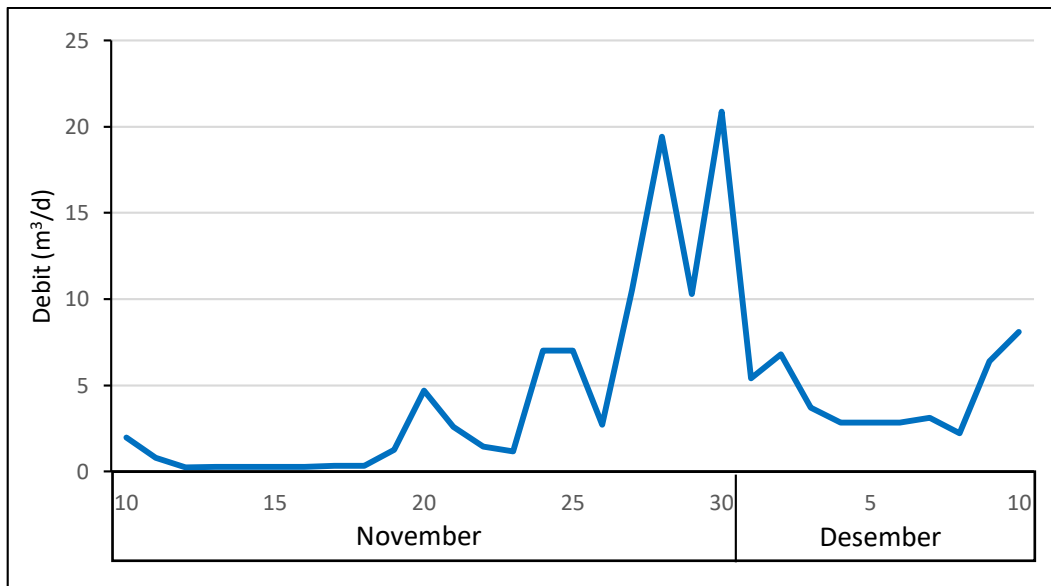
Gambar 4.11 Pola Arus di Muara Welang saat Kondisi Pasang Tertinggi



Gambar 4.12 Pola Arus di Muara Welang saat Kondisi Menuju Surut



Gambar 4.13 Pola Arus di Muara Welang saat Kondisi Surut Terendah



Gambar 4.14 Debit Sungai Welang Bagian Hilir

4.8 Pemodelan Kualitas Air Muara Welang

Pemodelan parameter kualitas air Muara Welang dilakukan dengan modul Ecolab dalam MIKE21. Parameter kualitas air yang digunakan dalam penelitian ini

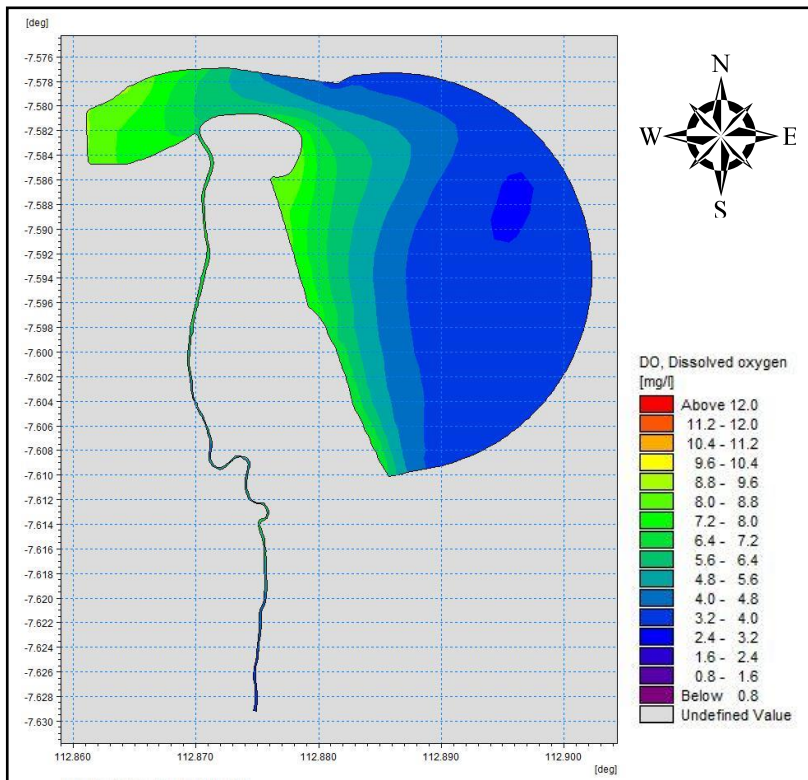
adalah DO, BOD, COD, TSS, amonia, krom, dan sulfida. Hasil pemodelan kualitas air akan dianalisis pada saat sebelum pembuangan limbah yaitu pada *time step* ke 168 saat kondisi pasang, dan saat setelah pembuangan limbah dalam empat kondisi yaitu *time step* 191 saat menuju pasang, *time step* 193 saat pasang tertinggi, *time step* 198 saat menuju surut, serta *time step* 200 saat surut terendah.

4.8.1 Hasil Pemodelan dan Analisis Sebaran DO

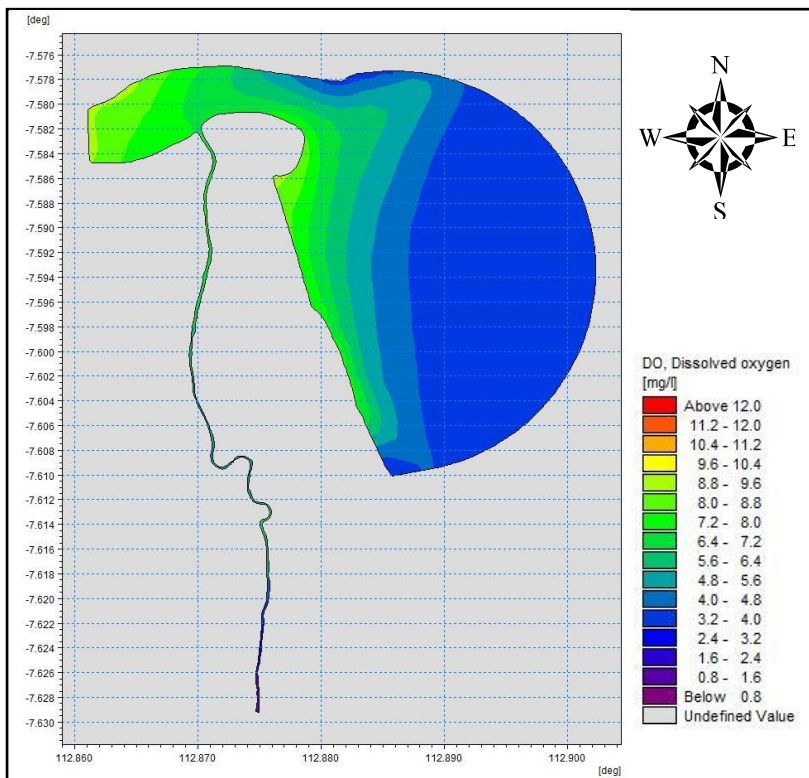
Gambar 4.15 menunjukkan sebaran DO sebelum pembuangan limbah saat kondisi pasang tertinggi, konsentrasi DO di badan sungai sekitar 2.46-7.21 mg/L, di daerah muara konsentrasi DO sekitar 4.85-8.94 mg/L, dan di laut sekitar 3.13-8.78 mg/L. Konsentrasi DO terendah di sungai sebesar 2.46 mg/L. Konsentrasi tertinggi berada di pesisir dekat muara dengan nilai yaitu 8.93 mg/L.

Hasil pemodelan sebaran DO setelah pembuangan limbah pada saat kondisi menuju pasang ditunjukkan Gambar 4.16. Nilai DO di badan sungai sekitar 1.16-7.36 mg/L, di muara konsentrasi DO lebih besar sekitar 5.81-9.10 mg/L, dan di laut sekitar 3.18-8.88 mg/L. Konsentrasi DO terendah di ujung sungai dengan nilai 1.16 mg/L, sedangkan konsentrasi DO tertinggi berada di pesisir dekat muara dengan nilai sebesar 9.10 mg/L. Gambar 4.17 menunjukkan sebaran DO saat kondisi pasang tertinggi, konsentrasi DO di badan sungai sekitar 1.31-7.30 mg/L, di daerah muara konsentrasi DO sekitar 5.41-8.96 mg/L, dan di laut sekitar 3.18-8.87 mg/L. Konsentrasi DO terendah di sungai sebesar 1.31 mg/L. Konsentrasi tertinggi berada di pesisir dekat muara dengan nilai yaitu 8.96 mg/L.

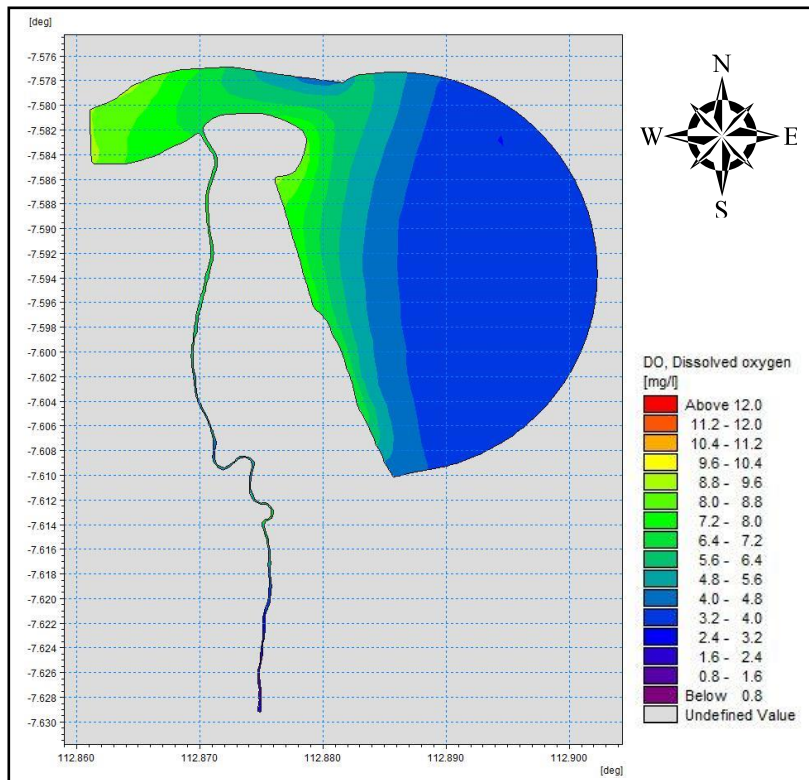
Distribusi DO setelah pembuangan limbah saat kondisi menuju surut ditunjukkan Gambar 4.18. Nilai DO di badan sungai sekitar 2.15-6.54 mg/L, di muara sekitar 4.23-7.34 mg/L, dan di laut sekitar 3.21-8.97 mg/L. Konsentrasi DO terendah di sungai yaitu 2.15 mg/L. Konsentrasi DO tertinggi berada di pesisir bagian selatan mencapai 8.97 mg/L. Distribusi DO saat kondisi surut terendah ditunjukkan Gambar 4.19, konsentrasi DO di badan sungai menunjukkan nilai yang bervariasi sekitar 2.55-8.26 mg/L, di muara antara 5.31-8.76 mg/L, dan di laut sekitar 3.24-8.59 mg/L. Konsentrasi DO terendah berada di sungai yaitu 2.55 mg/L. Konsentrasi DO tertinggi di dekat muara dengan nilai sebesar 8.76 mg/L dan di pesisir bagian selatan sebesar 8.59 mg/L.



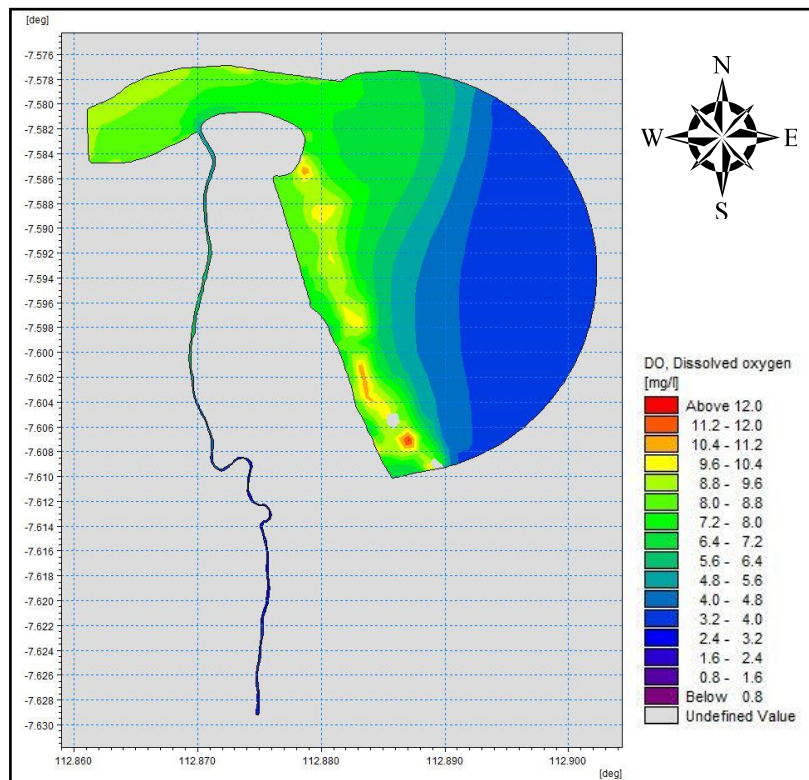
Gambar 4.15 Distribusi DO Sebelum Pembuangan Limbah



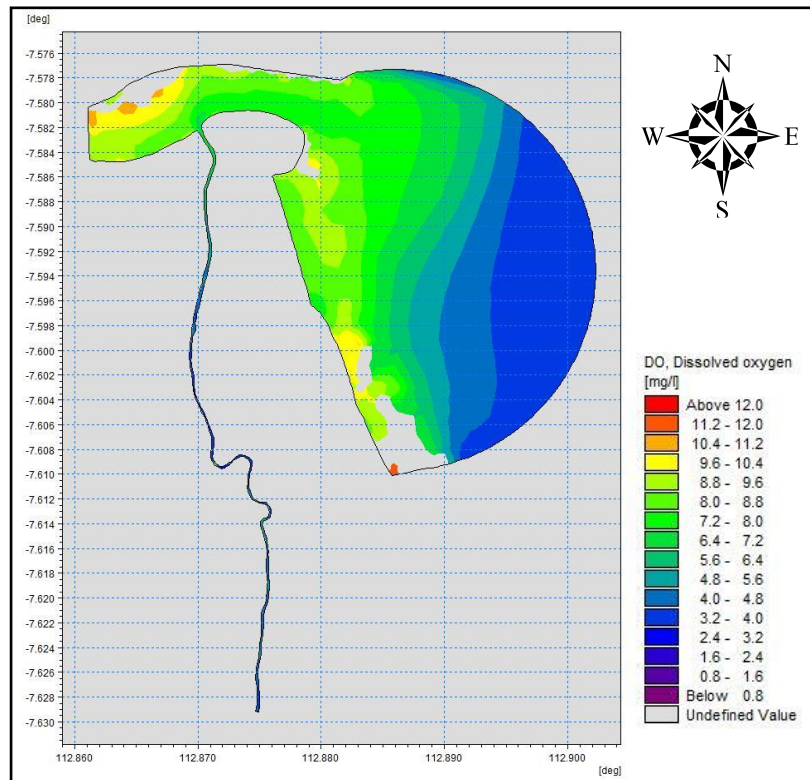
Gambar 4.16 Distribusi DO saat Kondisi Menuju Pasang



Gambar 4.17 Distribusi DO saat Kondisi Pasang Tertinggi



Gambar 4.18 Distribusi DO saat Kondisi Menuju Surut



Gambar 4.19 Distribusi DO saat Kondisi Surut Terendah

Tabel 4.11 menunjukkan perubahan konsentrasi DO akibat pembuangan limbah pada beberapa *time step*. *Time step* ke 166 (17 November 2019 pukul 00.00) menunjukkan konsentrasi DO sebelum dilakukan pembuangan limbah, *Time step* ke 188 (17 November 2019 pukul 20.00) menunjukkan konsentrasi DO saat dilakukan pembuangan limbah, *Time step* ke 200 (18 November 2019 pukul 08.00) menunjukkan konsentrasi DO setelah 12 jam dilakukan pembuangan limbah, dan *Time step* ke 221 (19 November 2019 pukul 05.00) menunjukkan konsentrasi DO setelah 33 jam dilakukan pembuangan limbah.

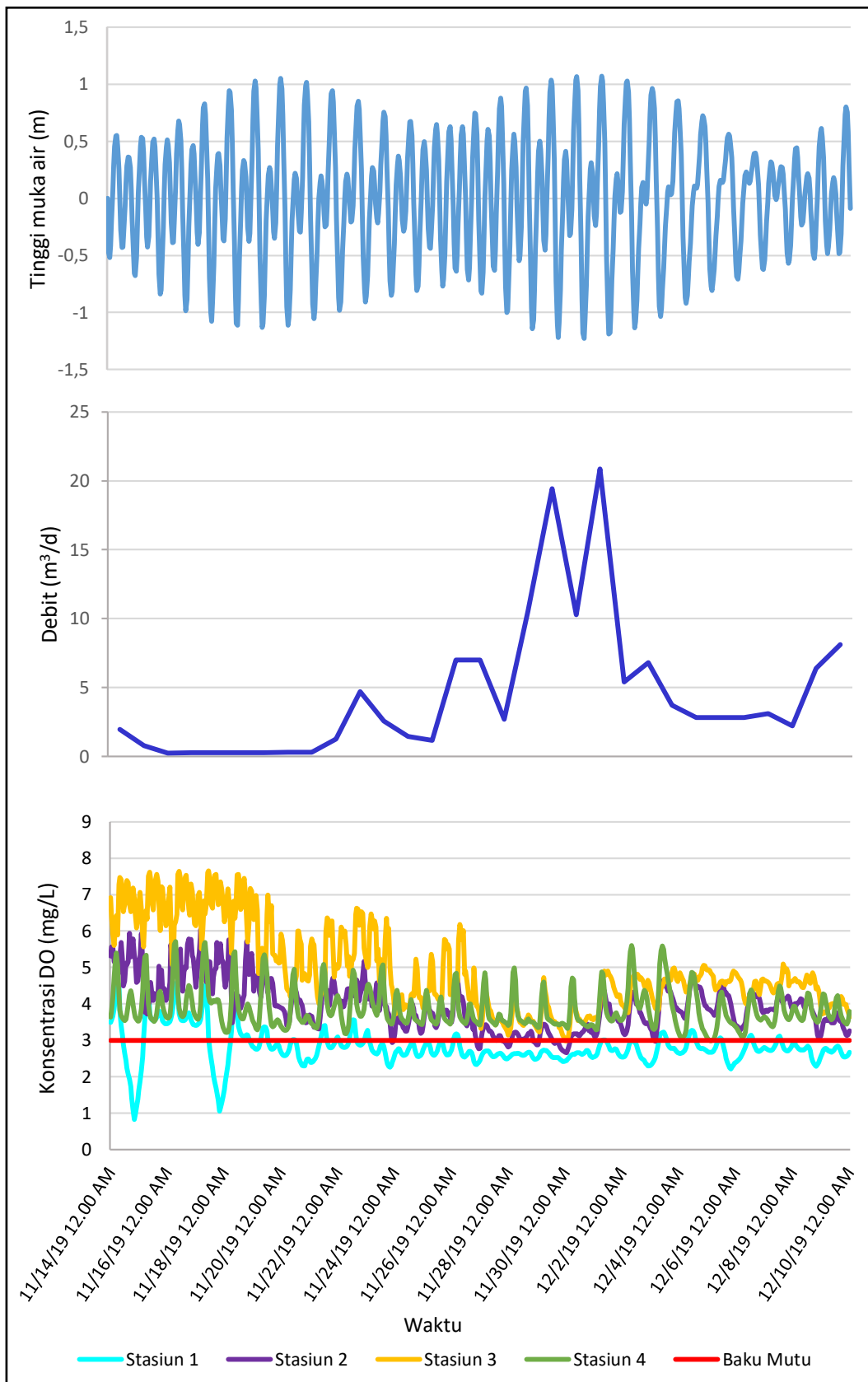
Konsentrasi DO sebelum pembuangan limbah industri menunjukkan nilai yang relatif tinggi pada 4 stasiun pengamatan. Saat pembuangan limbah industri, konsentrasi DO di stasiun 1 mengalami penurunan yang signifikan hingga 1.05 mg/L. Setelah 12 jam pasca pembuangan limbah, konsentrasi DO di stasiun 1 kembali meningkat karena limbah mengalir menuju hilir dan menyebabkan konsentrasi DO di stasiun 2 mengalami penurunan hingga 3.77 mg/L. Pada stasiun 3 yang berada di bagian muara mengalami penurunan konsentrasi DO setelah 33

jam pasca pembuangan limbah. Sedangkan, konsentrasi DO pada stasiun 4 yang berada di laut tidak mengalami penurunan akibat pembuangan limbah industri ke sungai.

Pembuangan limbah industri ke sungai menyebabkan konsentrasi DO di sungai menurun. Hal ini disebabkan karena oksigen digunakan oleh mikroorganisme untuk menghancurkan kandungan bahan organik yang terdapat pada air limbah. Hasil pemodelan DO menunjukkan perbedaan konsentrasi ketika pasang dan ketika surut (Gambar 4.20). Konsentrasi DO di muara sungai ketika pasang lebih tinggi dibandingkan ketika surut. 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 (Pawar dan Kulkarni, 2007 dalam Pawar, 2013). Perbedaan hasil pemodelan DO juga terlihat dari pola distribusinya. Arus pada saat pasang yang mengalir menuju sungai dan daratan membawa kandungan oksigen sehingga mengakibatkan DO terakumulasi di muara dan pantai. Sedangkan pada saat surut, arus mengalir meninggalkan pantai sehingga DO tersebar secara merata. Konsentrasi DO di Muara Welang juga dipengaruhi oleh debit sungai (Gambar 4.20). Saat debit sungai rendah, pola konsentrasi DO di stasiun 1-3 semakin tinggi. Sebaliknya, saat debit sungai semakin tinggi maka pola konsentrasi DO akan semakin rendah. Debit sungai yang semakin tinggi, akan menyebabkan air semakin dalam. Air yang semakin dalam akan menyebabkan oksigen sulit terlarut sehingga konsentrasi DO semakin rendah.

Tabel 4.11 Perubahan Konsentrasi DO pada 4 Stasiun Pengamatan

Stasiun	Konsentrasi DO pada <i>Time Step</i> (mg/L)			
	166	188	200	221
1	3.41	1.05	4.10	2.79
2	4.45	5.32	3.77	4.60
3	6.14	6.77	6.82	4.83
4	3.64	3.97	5.36	3.36



Gambar 4.20 Korelasi antara Pasang Surut dan Debit dengan Konsentrasi DO

Konsentrasi DO di stasiun 1 pada sebagian besar *time step* tidak memenuhi memenuhi baku mutu, sedangkan pada beberapa waktu tertentu DO memenuhi standar baku mutu (Gambar 4.20). Baku mutu DO berdasarkan PP. No 82 Tahun 2001 adalah lebih besar dari 3 mg/L. Konsentrasi DO pada stasiun 1 tidak memenuhi baku mutu karena berada dekat tempat pembuangan limbah industri sehingga menyebabkan nilai DO yang relatif kecil. Konsentrasi DO pada stasiun 2 dan 3 sebagian besar memenuhi baku mutu, sedangkan pada stasiun 4 konsentrasi DO pada setiap *time step* memenuhi baku mutu. Grafik juga menunjukkan bahwa konsentrasi DO pada stasiun 4 relatif lebih rendah daripada stasiun 2 dan 3. Hal tersebut disebabkan karena salinitas di laut lebih tinggi daripada di sungai dan muara. Menurut Odum (1971) menyatakan bahwa kadar oksigen dalam air akan bertambah dengan semakin rendahnya suhu dan berkurang dengan semakin tingginya salinitas.

4.8.2 Hasil Pemodelan dan Analisis Sebaran BOD

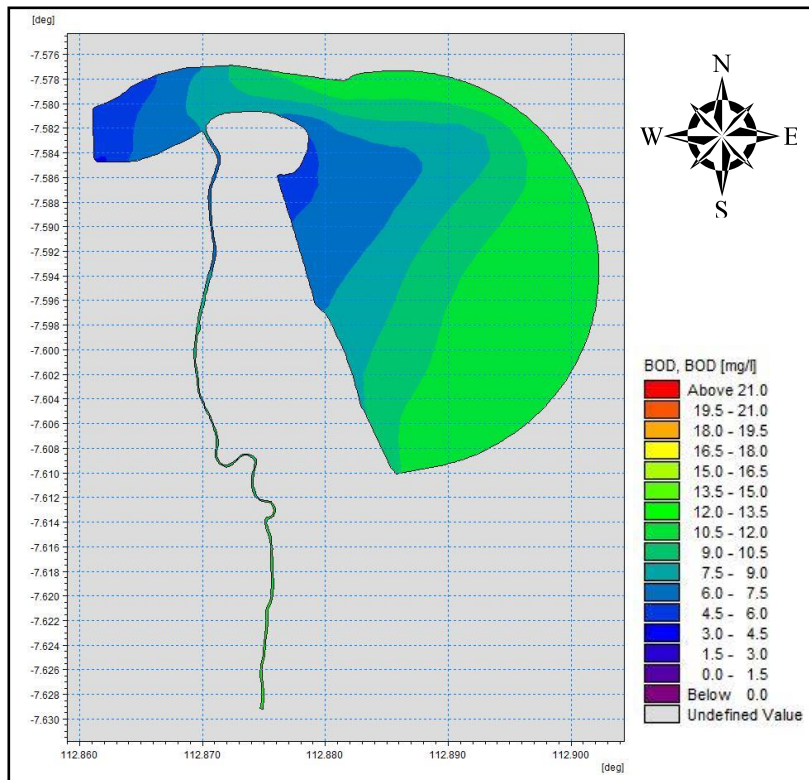
Hasil pemodelan sebaran BOD sebelum dilakukan pembuangan limbah ditunjukkan Gambar 4.21. Konsentrasi BOD di badan sungai menunjukkan nilai yang bervariasi yaitu 6.49-14.62 mg/L, di daerah muara konsentrasi BOD yaitu 4.28-10.57 mg/L, dan di laut sekitar 4.60-11.93 mg/L. Konsentrasi BOD terendah berada di muara yaitu 4.28 mg/L. Konsentrasi tertinggi berada di sungai yaitu 14.62 mg/L.

Distribusi BOD setelah dilakukan pembuangan limbah industri ke sungai saat kondisi pasang ditunjukkan Gambar 4.22. Hasil pemodelan sebaran BOD menunjukkan nilai antara 6.37-23.52 mg/L di badan sungai, 4.27-9.64 mg/L di daerah muara, 4.52-11.93 mg/L di daerah laut. Konsentrasi BOD terendah berada di muara yaitu 4.27 mg/L. Konsentrasi tertinggi berada di ujung sungai yaitu 23.52 mg/L. Distribusi BOD saat kondisi pasang tertinggi ditunjukkan Gambar 4.23. Konsentrasi BOD di badan sungai menunjukkan nilai yang bervariasi sekitar 6.30-23.21 mg/L, di daerah muara konsentrasi BOD yaitu 4.28-9.30 mg/L, dan di daerah laut sekitar 4.70-11.93 mg/L. Konsentrasi BOD terendah berada di daerah muara yaitu 4.28 mg/L. Konsentrasi BOD tertinggi berada di bagian ujung sungai dengan nilai mencapai 23.21 mg/L.

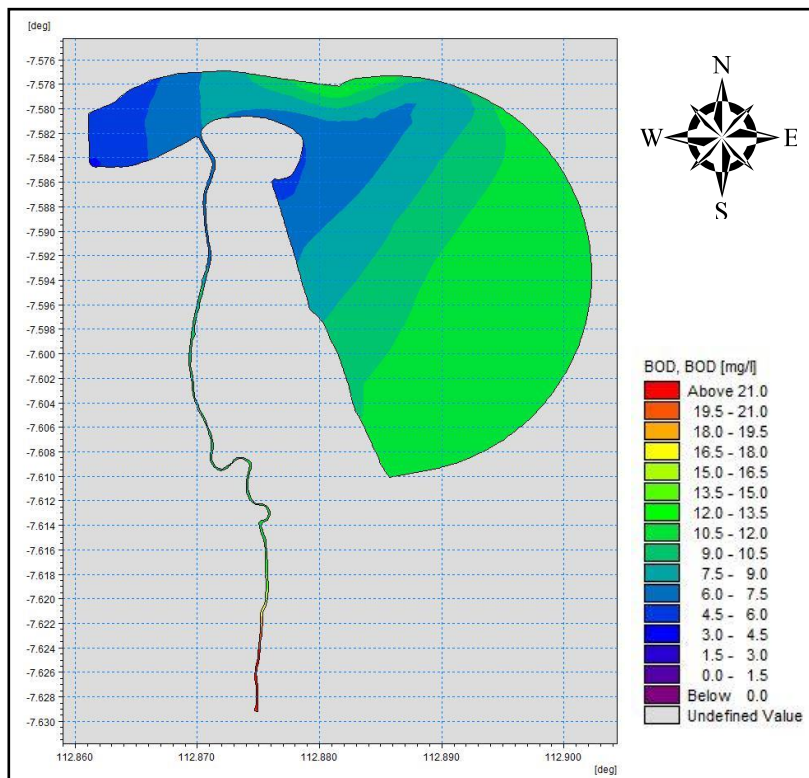
Distribusi BOD setelah dilakukan pembuangan limbah saat kondisi menuju surut ditunjukkan Gambar 4.24. Konsentrasi BOD di badan sungai menunjukkan nilai yang tinggi sekitar 5.18-9.77 mg/L, di daerah muara sekitar 4.30-9.80 mg/L, dan di laut sekitar 4.54-12.06 mg/L. Konsentrasi BOD terendah berada di dekat muara dengan nilai 4.30 mg/L, sedangkan konsentrasi tertinggi berada sungai yaitu 11.93 mg/L. Distribusi BOD saat kondisi surut terendah ditunjukkan Gambar 4.25. Distribusi sebaran BOD pada saat kondisi surut terendah menunjukkan nilai sekitar 11.70-21.61 mg/L di badan sungai, 4.27-11.56 mg/L di daerah muara, dan 4.49-11.93 mg/L di daerah laut. Konsentrasi BOD terendah di laut yaitu 4.27 mg/L. Konsentrasi tertinggi berada di sungai dengan nilai 21.60 mg/L.

Tabel 4.12 menunjukkan perubahan konsentrasi BOD akibat pembuangan limbah pada beberapa *time step*. Konsentrasi BOD sebelum pembuangan limbah menunjukkan nilai yang relatif rendah pada 4 stasiun pengamatan. Saat pembuangan limbah, konsentrasi BOD di stasiun 1 mengalami peningkatan hingga 28.89 mg/L. Setelah 12 jam pasca pembuangan limbah, konsentrasi BOD di stasiun 1 kembali menurun karena limbah mengalir menuju hilir dan menyebabkan BOD di stasiun 2 mengalami peningkatan hingga 19.16 mg/L. Konsentrasi BOD di stasiun 3 juga mengalami peningkatan setelah pembuangan limbah. Konsentrasi BOD di stasiun 3 mencapai 14.74 mg/L setelah 33 jam pasca pembuangan limbah. Sedangkan, konsentrasi BOD pada stasiun 4 tidak mengalami perubahan yang signifikan saat sebelum dan sesudah pembuangan limbah. Konsentrasi BOD pada stasiun 4 memiliki nilai yang lebih rendah daripada stasiun lainnya.

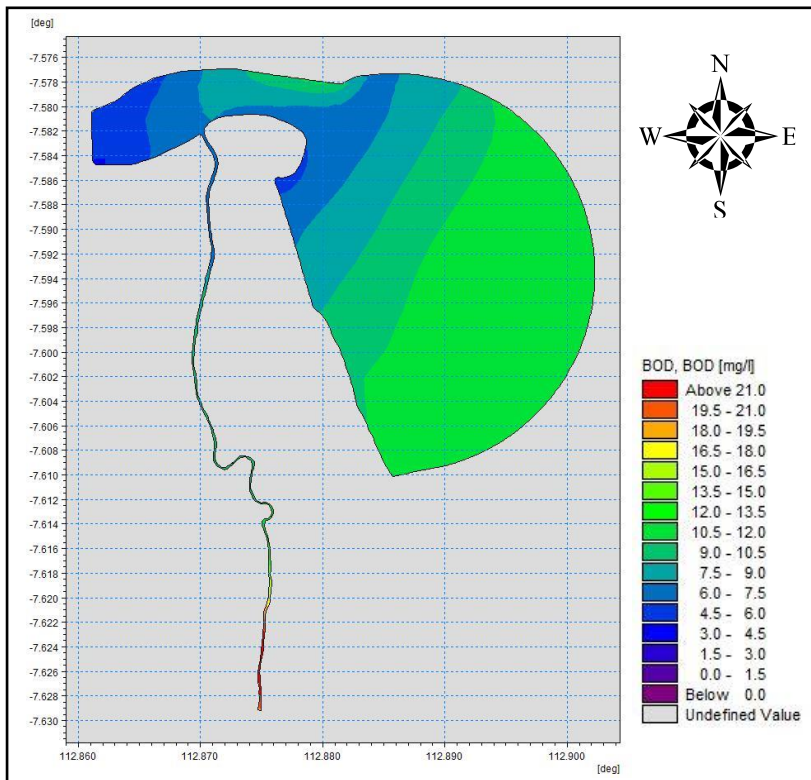
Berdasarkan hasil pemodelan BOD terdapat perbedaan konsentrasi ketika pasang dan surut. Konsentrasi BOD di sungai semakin meningkat setelah dilakukan pembuangan limbah saat kondisi menuju pasang, sehingga BOD di sungai saat pasang lebih tinggi daripada saat surut. Konsentrasi BOD di muara dan laut saat surut lebih tinggi daripada saat pasang, dengan perbedaan yang cukup jauh. Hal ini sejalan dengan penelitian yang 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. 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 pasang.



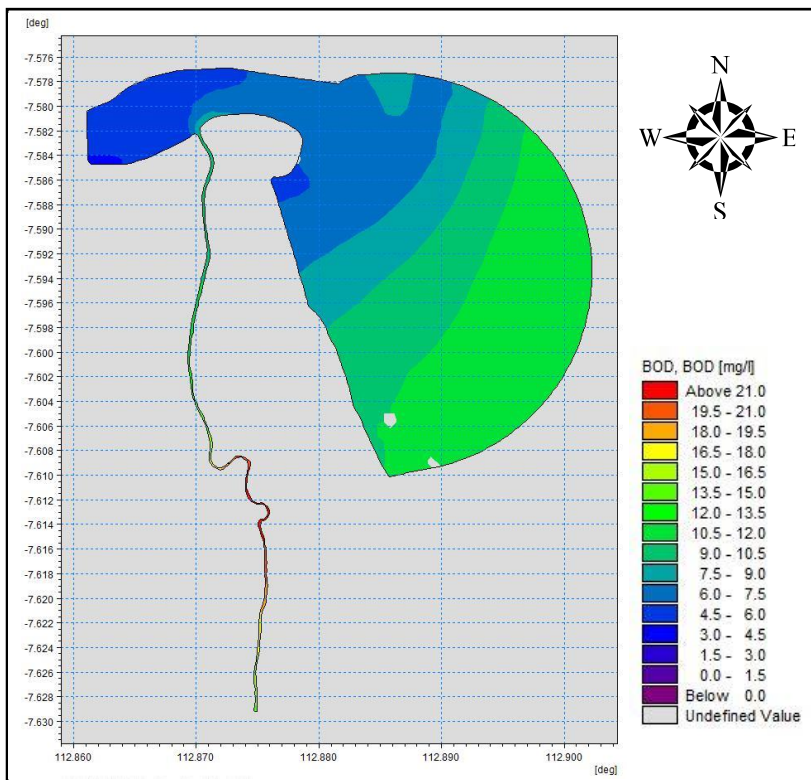
Gambar 4.21 Distribusi BOD Sebelum Pembuangan Limbah



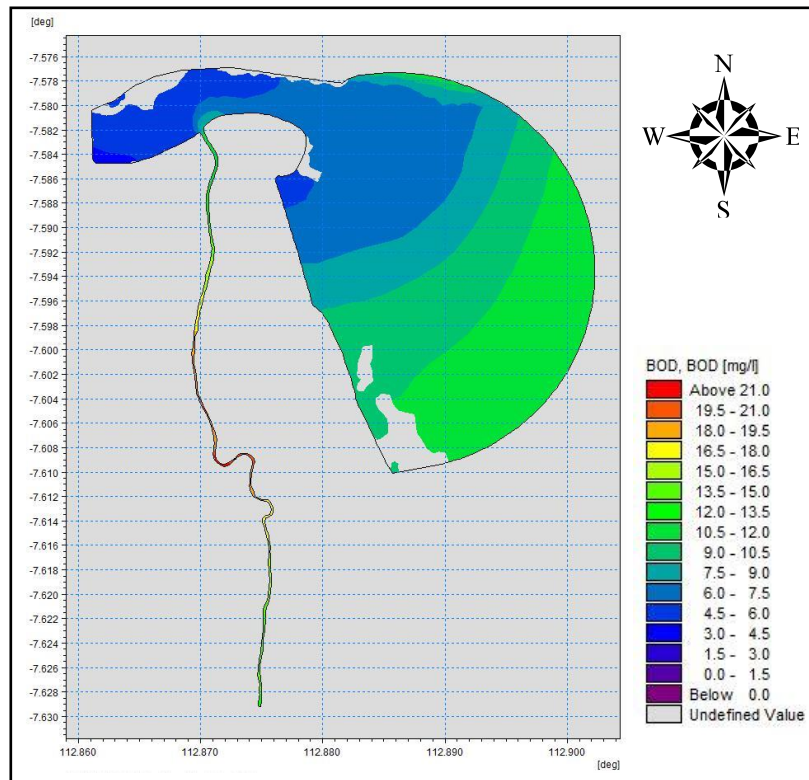
Gambar 4.22 Distribusi BOD saat Kondisi Menuju Pasang



Gambar 4.23 Distribusi BOD saat Kondisi Pasang Tertinggi



Gambar 4.24 Distribusi BOD saat Kondisi Menuju Surut

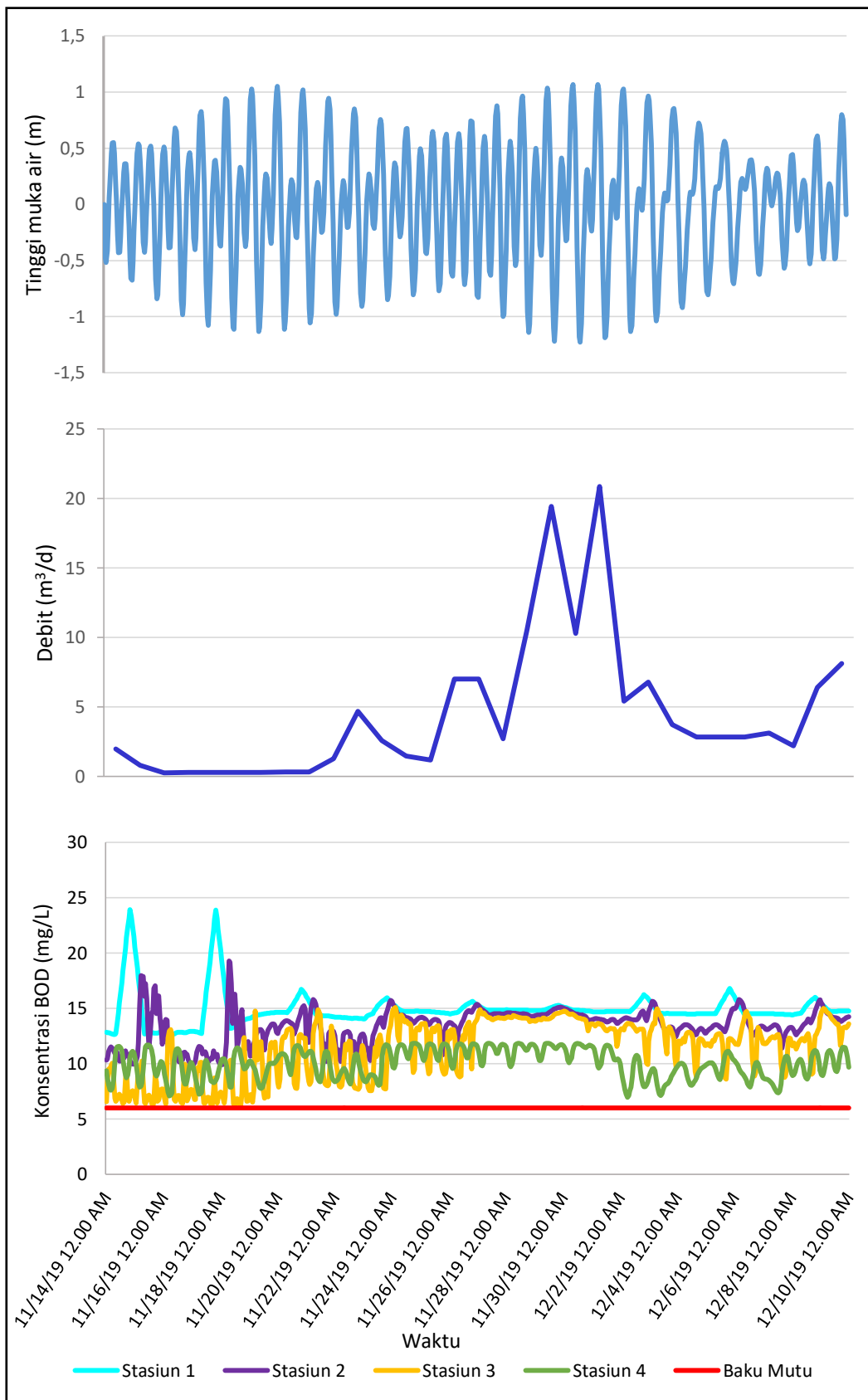


Gambar 4.25 Distribusi BOD saat Kondisi Surut Terendah

Tabel 4.12 Perubahan Konsentrasi BOD pada 4 Stasiun Pengamatan

Stasiun	Konsentrasi BOD pada <i>Time Step</i> (mg/L)			
	166	188	200	221
1	12.91	23.89	13.21	14.33
2	9.91	10.73	19.16	12.28
3	7.63	7.01	10.27	14.74
4	10.05	8.46	7.88	9.44

Konsentrasi BOD di Muara Welang juga dipengaruhi oleh debit. Konsentrasi BOD memiliki pola yang berbanding terbalik dengan debit. Saat debit rendah, BOD di stasiun 1, 2 dan 3 yang berada di sungai memiliki konsentrasi semakin tinggi. Sebaliknya, saat debit semakin tinggi maka konsentrasi BOD akan semakin rendah. Debit yang tinggi membawa volume air yang besar dari hulu, volume air yang besar ini akan mengencerkan konsentrasi BOD. Pengenceran BOD oleh volume air yang besar akan menyebabkan konsentrasinya semakin rendah.



Gambar 4.26 Korelasi antara Pasang Surut dan Debit dengan Konsentrasi BOD

Konsentrasi BOD pada 4 titik pengamatan melebihi standar baku mutu berdasarkan PP No. 82 tahun 2001. Standar baku mutu BOD untuk Muara Welang adalah tidak lebih dari 6 mg/L. Gambar 4.26 merupakan grafik konsentrasi BOD pada 4 stasiun pengamatan. Pada grafik tersebut terlihat bahwa konsentrasi BOD pada stasiun 1 lebih tinggi dibandingkan konsentrasi BOD di stasiun lainnya. Konsentrasi BOD terkecil berada di stasiun 4. Sebaran konsentrasi BOD tertinggi berada di sungai menjelaskan aktivitas mikroba di sungai jauh lebih besar dibandingkan aktivitas mikroba di tempat lainnya. Menurut G. Alerts dan SS Santika (1987) pemeriksaan nilai BOD diperlukan untuk menentukan beban pencemaran akibat air buangan dan untuk mendesain sistem pengolahan secara biologis. Kandungan senyawa organik yang tinggi di Muara Welang dapat berasal dari buangan limbah industri ke sungai secara langsung tanpa melalui instalasi pengolahan limbah terlebih dahulu.

Konsentrasi DO di stasiun 2 dan 3 terus menurun pada *setiap time step*, sedangkan BOD semakin meningkat. Hal ini menjelaskan adanya hubungan antara DO dan BOD yang berbanding terbalik. 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, hal ini yang menyebabkan DO justru semakin menurun.

4.8.3 Hasil Pemodelan dan Analisis Sebaran COD

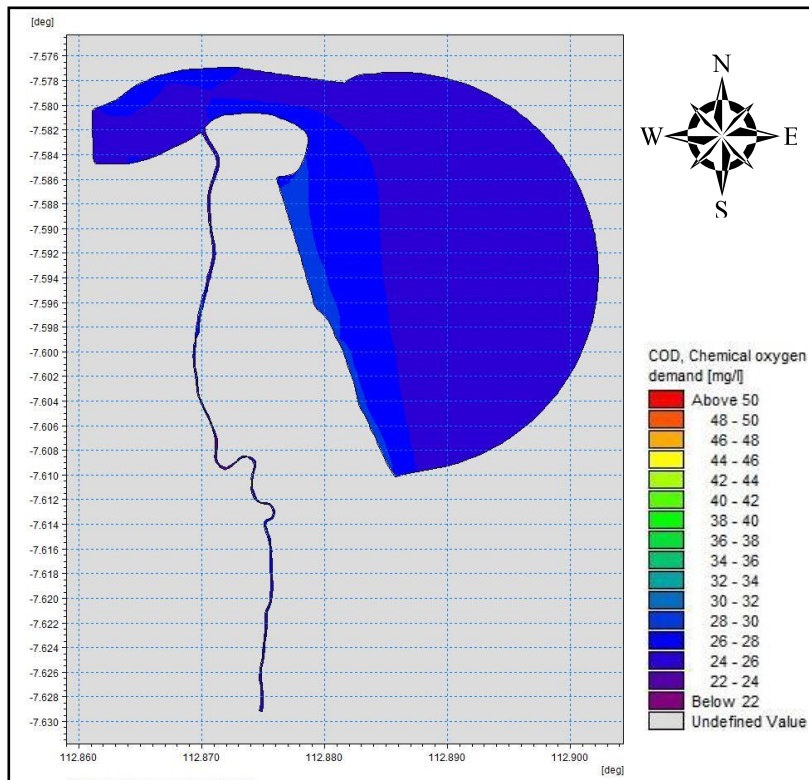
Hasil pemodelan COD sebelum dilakukan pembuangan limbah di badan sungai sekitar 21.94-28.09 mg/L, di daerah muara konsentrasi COD sekitar 22.31-26.42 mg/L, dan di laut meningkat sekitar 24.50-29.12 mg/L (Gambar 4.27). Konsentrasi COD terendah di sungai sebesar 21.94 mg/L. Konsentrasi tertinggi berada di laut sebesar 29.12 mg/L.

Hasil pemodelan COD setelah dilakukan pembuangan limbah pada saat kondisi menuju pasang di badan sungai sekitar 23.20-45.52 mg/L, di daerah muara konsentrasi COD sekitar 25.15-27.50 mg/L, dan di laut konsentrasi COD sekitar 24.57-29.53 mg/L. Distribusi sebaran COD pada saat kondisi menuju pasang

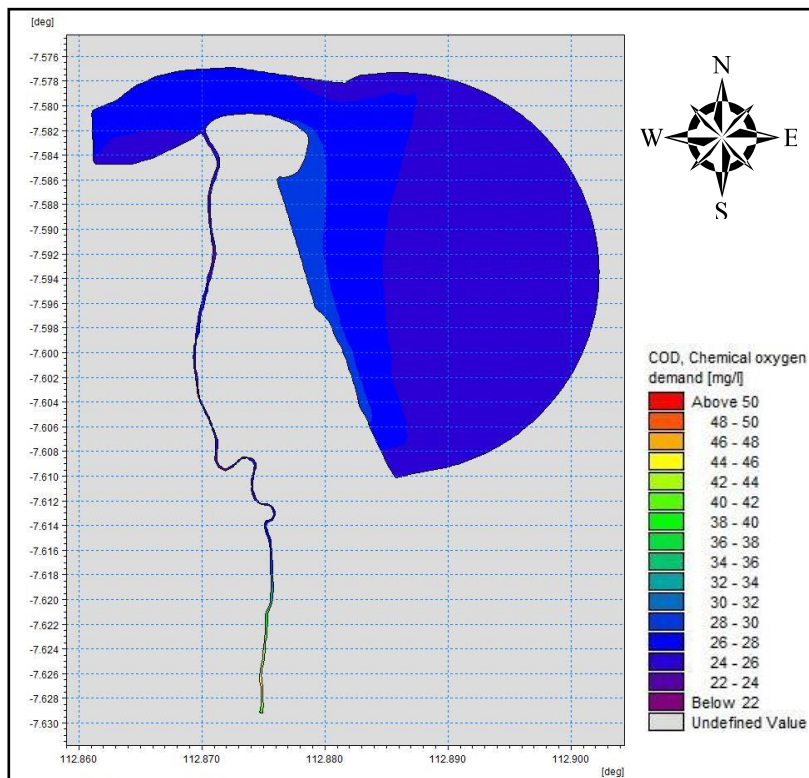
ditunjukkan Gambar 4.28. Konsentrasi COD terendah di badan sungai dekat muara dengan nilai 23.20 mg/L, sedangkan konsentrasi COD tertinggi sungai dengan nilai sebesar 45.52 mg/L. Gambar 4.29 menunjukkan sebaran COD saat kondisi pasang tertinggi, konsentrasi COD di badan sungai sekitar 22.12-45.37 mg/L, di daerah muara konsentrasi COD sekitar 22.67-27.61 mg/L, dan di laut sekitar 24.58-29.40 mg/L. Konsentrasi COD terendah di sungai dekat muara sebesar 22.12 mg/L. Konsentrasi tertinggi berada di sungai sebesar 45.37 mg/L.

Distribusi COD setelah dilakukan pembuangan limbah industri saat kondisi menuju surut ditunjukkan Gambar 4.30. Konsentrasi COD di badan sungai sekitar 23.95-46.69 mg/L, di daerah muara konsentrasi COD sekitar 23.27-27.46 mg/L, dan di laut sekitar 24.61-36.72 mg/L. Konsentrasi COD terendah di pesisir muara dengan nilai 23.27 mg/L. Konsentrasi COD tertinggi berada di sungai mencapai 46.69 mg/L. Distribusi COD saat kondisi surut terendah ditunjukkan Gambar 4.29, konsentrasi COD di badan sungai sekitar 24.84-56.08 mg/L, di daerah muara konsentrasi COD antara 25.20-27.57 mg/L, dan di laut sekitar 24.64-32.79 mg/L. Konsentrasi COD terendah berada di laut dengan nilai 24.64 mg/L. Konsentrasi tertinggi di sungai dengan nilai sebesar 56.08 mg/L.

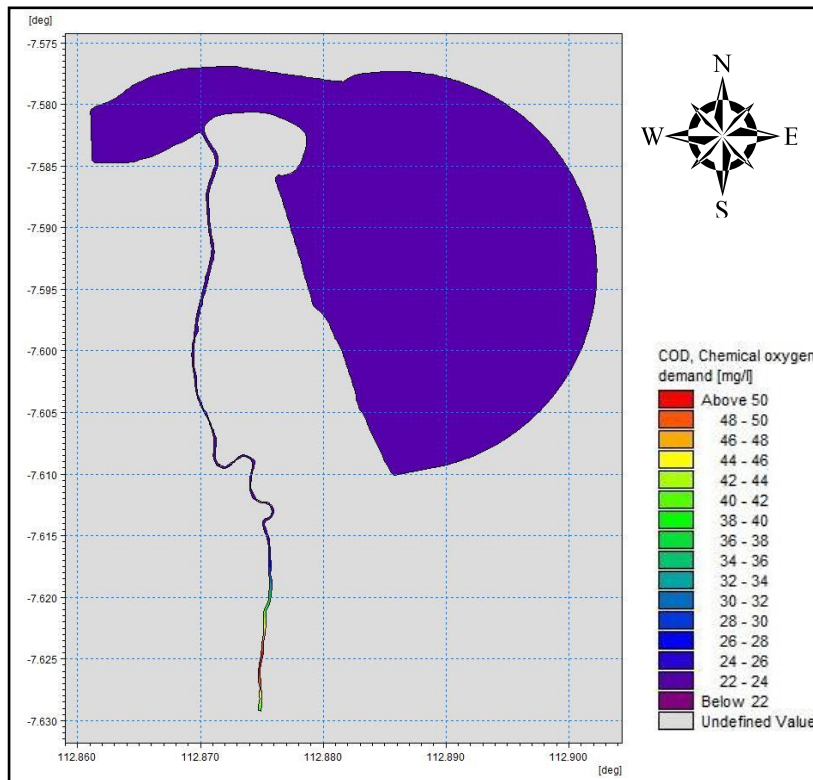
Perubahan konsentrasi COD akibat pembuangan limbah pada beberapa *time step* ditunjukkan pada Tabel 4.13. Konsentrasi COD pada 4 stasiun pengamatan sebelum pembuangan limbah menunjukkan nilai yang relatif rendah dibandingkan saat pembuangan limbah. Saat pembuangan limbah industri, konsentrasi COD di stasiun 1 mengalami peningkatan hingga 45.67 mg/L. Setelah 12 jam pasca pembuangan limbah, konsentrasi COD di stasiun 1 kembali menurun karena limbah mengalir menuju muara dan menyebabkan konsentrasi COD di stasiun 2 mengalami peningkatan hingga 40.43 mg/L. Konsentrasi COD di stasiun 3 saat pembuangan limbah memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan sebelum dan 12 jam setelah pembuangan limbah. Hal ini disebabkan saat pembuangan limbah dilakukan saat kondisi air pasang, volume air yang besar saat pasang akan mengencerkan COD yang tinggi di suatu wilayah sehingga konsentrasinya menurun. Konsentrasi COD di stasiun 3 meningkat hingga 36.74 mg/L setelah 33 jam pembuangan limbah. Konsentrasi COD pada stasiun 4 tidak mengalami perubahan yang signifikan saat sebelum dan sesudah pembuangan limbah.



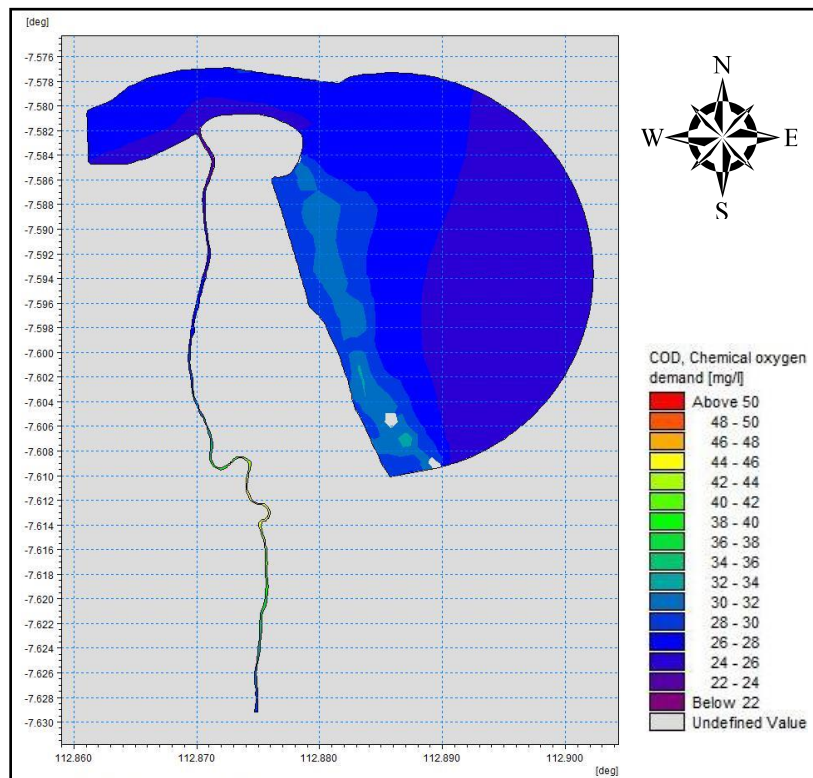
Gambar 4.27 Distribusi COD Sebelum Pembuangan Limbah



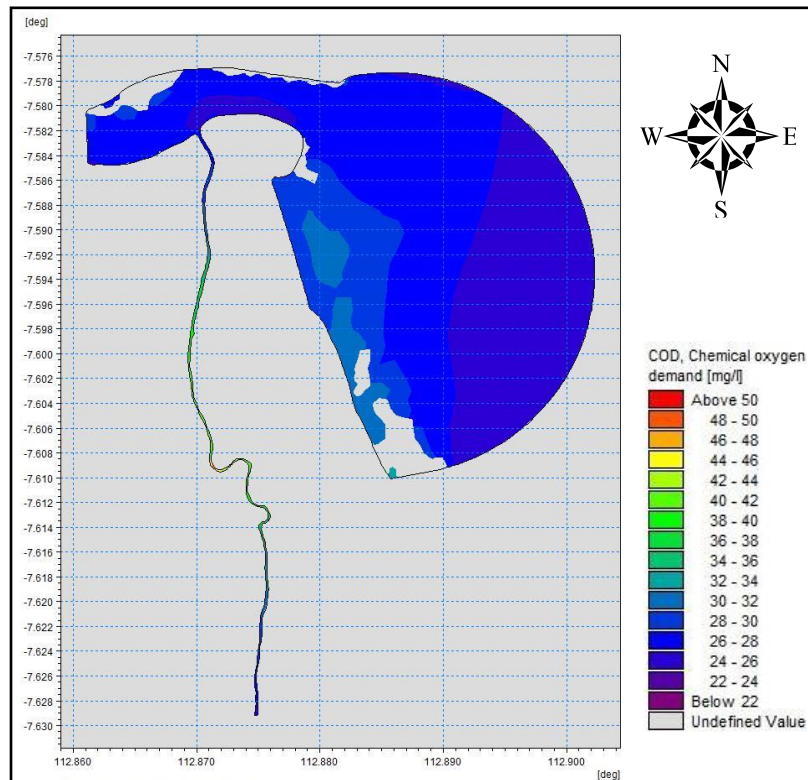
Gambar 4.28 Distribusi COD saat Kondisi Menuju Pasang



Gambar 4.29 Distribusi COD saat Kondisi Pasang Tertinggi



Gambar 4.30 Distribusi COD saat Kondisi Menuju Surut



Gambar 4.31 Distribusi COD saat Kondisi Surut Terendah

Tabel 4.13 Perubahan Konsentrasi COD pada 4 Stasiun Pengamatan

Stasiun	Konsentrasi COD pada <i>Time Step</i> (mg/L)			
	166	188	200	221
1	24.69	45.67	25.78	25.76
2	22.36	24.58	40.43	26.17
3	23.71	23.28	26.83	36.74
4	24.80	25.19	26.44	24.74

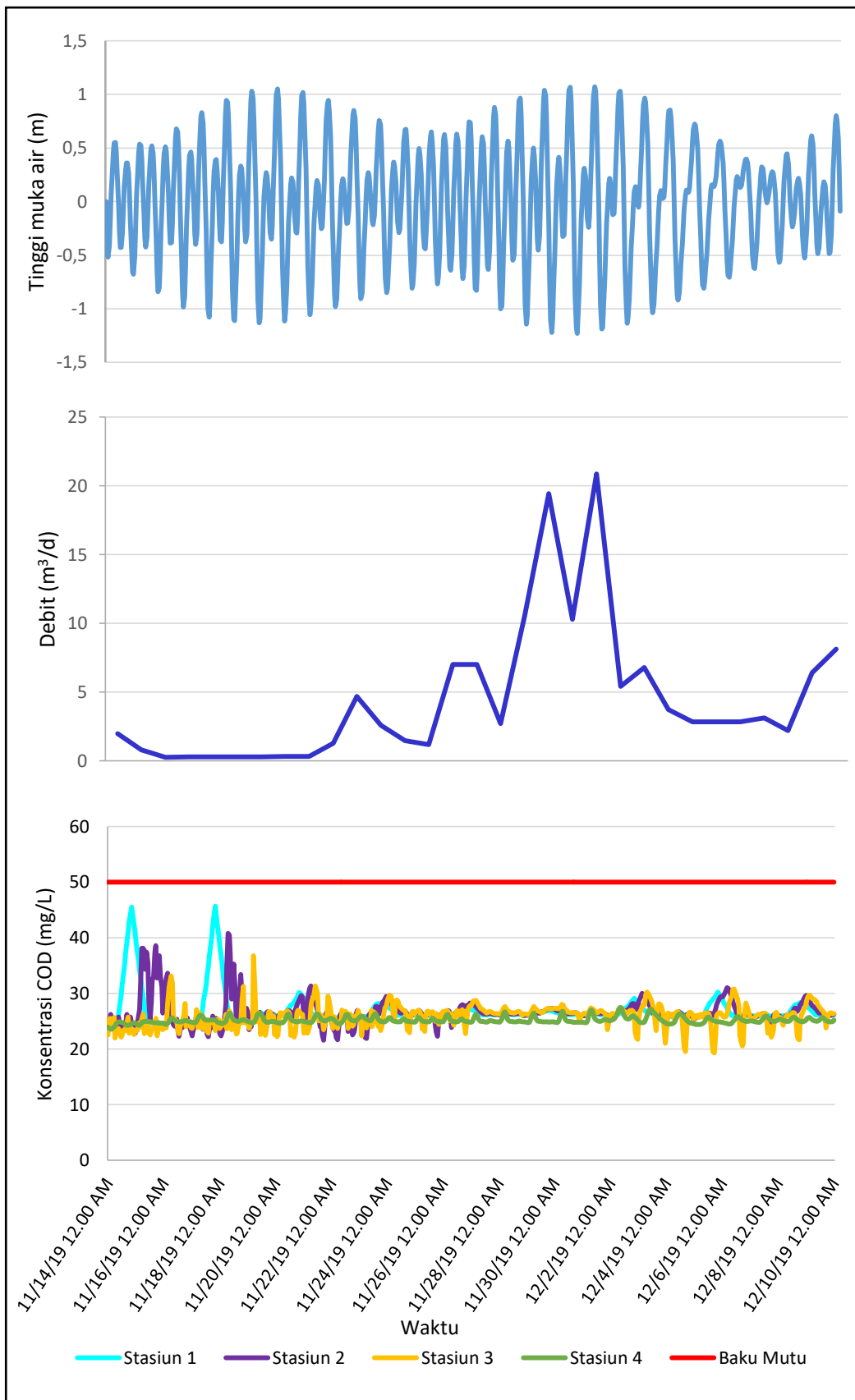
Konsentrasi COD setelah pembuangan limbah ke sungai lebih tinggi dibandingkan saat sebelum dilakukan pembuangan limbah. Hal ini menunjukkan dalam limbah tersebut banyak mengandung bahan organik. Berdasarkan hasil pemodelan, terdapat perbedaan konsentrasi COD ketika pasang dan ketika surut. Konsentrasi COD di sungai semakin meningkat setelah dilakukan pembuangan limbah saat kondisi air menuju pasang, sehingga BOD di sungai saat pasang lebih tinggi daripada saat surut. Konsentrasi BOD di muara dan laut juga memiliki nilai

yang relatif rendah pada saat surut. Hal ini menunjukkan COD di perairan memiliki hubungan lurus dengan DO. Konsentrasi COD yang semakin besar menunjukkan semakin banyak oksigen yang dibutuhkan oleh air limbah dari badan air penerima. Grafik 4.20 dan 4.32 menunjukkan bahwa nilai COD lebih tinggi dibandingkan nilai BOD. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan senyawa organik dalam air limbah yang dibuang ke sungai sangat tinggi. Kandungan limbah dalam perairan tersebut tidak dapat didegradasi oleh mikroorganisme. Sesuai dengan pernyataan Sjafei et al (2002), bahwa nilai COD yang tinggi dan nilai BOD yang rendah pada air limbah menunjukkan bahwa dalam limbah tersebut mengandung senyawa-senyawa yang tidak terurai secara biologis.

Konsentrasi COD di Muara Welang juga dipengaruhi oleh debit. Konsentrasi COD memiliki pola yang berbanding terbalik dengan debit sungai. Saat debit sungai rendah, konsentrasi COD di stasiun 1, 2 dan 3 yang berada di sungai memiliki nilai yang semakin tinggi. Sebaliknya, saat debit sungai semakin tinggi maka konsentrasi COD akan semakin rendah. Nilai COD akan menurun saat debit tinggi disebabkan terjadi pengenceran COD oleh volume air yang besar dari hulu.

Grafik 4.32 juga menunjukkan konsentrasi COD 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.

Hasil pemodelan pada 4 stasiun pengamatan menunjukkan nilai COD tidak melebihi standar baku mutu (Gambar 4.32). Nilai standar baku mutu untuk parameter COD adalah 50 mg/L. Grafik tersebut juga menunjukkan konsentrasi COD pada setiap *time step*nya memiliki nilai yang relatif sama. Namun, pada stasiun 1 pada saat tertentu menunjukkan konsentrasi yang lebih tinggi. Konsentrasi COD yang meningkat disebabkan adanya limbah industri penyamakan kulit yang dibuang ke sungai menyebabkan konsumsi oksigen terlarut semakin meningkat. Konsentrasi COD tertinggi berada di stasiun 1 dan terendah di stasiun 4.



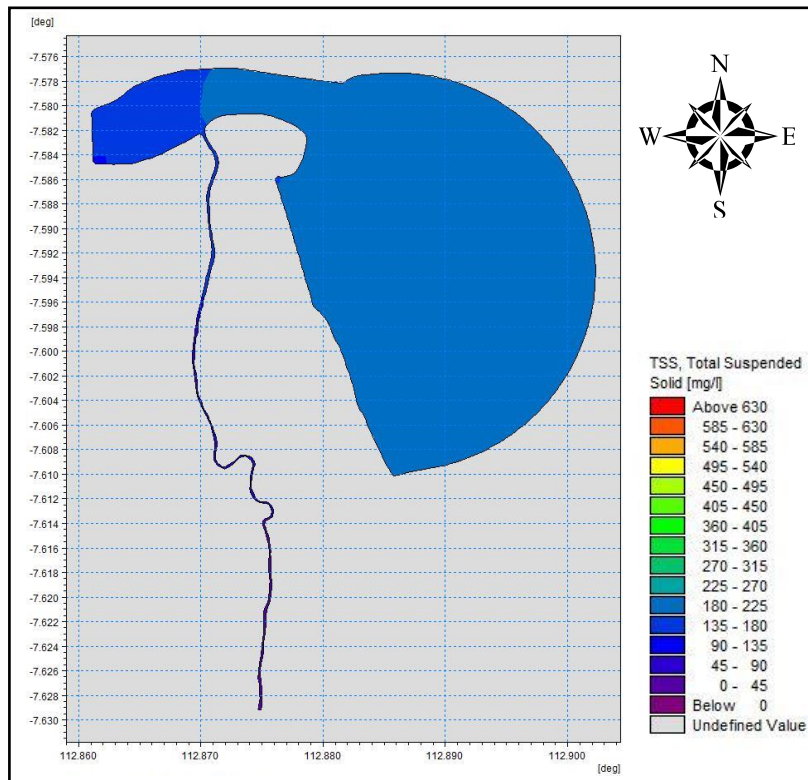
Gambar 4.32 Korelasi antara Pasang Surut dan Debit dengan Konsentrasi COD

4.8.4 Hasil Pemodelan dan Analisis Sebaran TSS

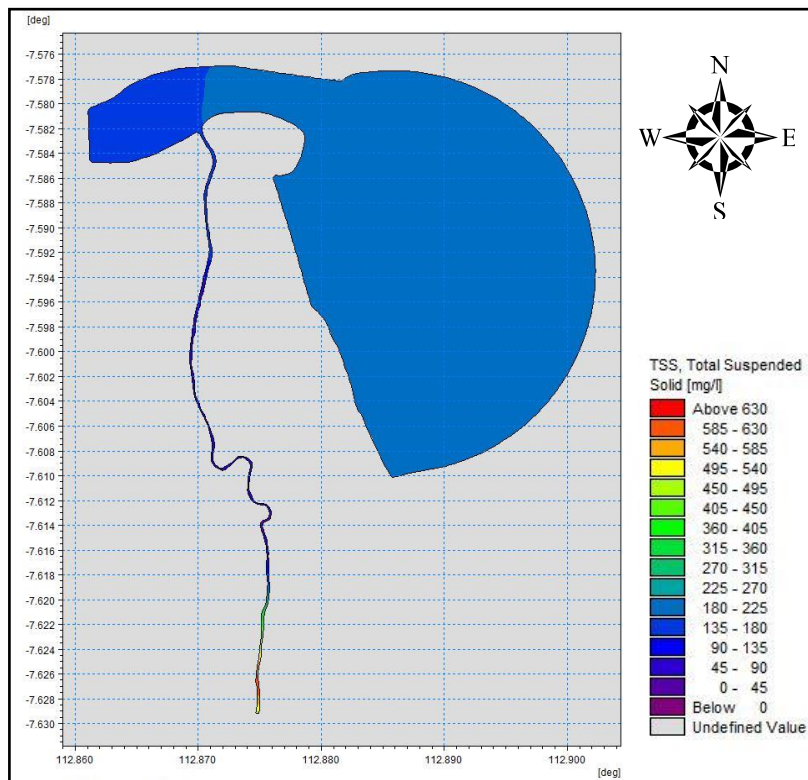
Hasil pemodelan sebaran TSS sebelum dilakukan pembuangan limbah ke sungai ditunjukkan Gambar 4.33. Konsentrasi TSS di badan sungai menunjukkan nilai sekitar 38.21-165.892 mg/L, di muara konsentrasi TSS yaitu 129.61-194.75 mg/L, dan di laut sekitar 177.23-203.70 mg/L. Konsentrasi terendah berada di bagian sungai yaitu 38.21 mg/L, sedangkan konsentrasi tertinggi di laut yaitu 203.70 mg/L.

Hasil pemodelan sebaran TSS setelah dilakukan pembuangan limbah pada saat kondisi menuju pasang menunjukkan nilai 42.23-617.21 mg/L di badan sungai, konsentrasi TSS sekitar 135.10-195.27 mg/L di daerah muara, dan 187.88-204.089 mg/L di daerah laut (Gambar 4.34). Konsentrasi terendah dan tertinggi berada di bagian sungai. Konsentrasi terendah yaitu 42.23 mg/L, sedangkan konsentrasi tertinggi mencapai 617.20 mg/L. Distribusi TSS saat kondisi pasang tertinggi ditunjukkan Gambar 4.35. Konsentrasi TSS di badan sungai menunjukkan nilai sekitar 42.78-605.53 mg/L, di daerah muara konsentrasi TSS yaitu 135.67-195.53 mg/L, dan di laut sekitar 189.30-203.92 mg/L. Konsentrasi terendah dan tertinggi berada di bagian sungai. Konsentrasi terendah yaitu 42.78 mg/L, sedangkan konsentrasi tertinggi mencapai 605.53 mg/L. Konsentrasi TSS pada saat pasang tertinggi lebih besar dibandingkan pada saat menuju pasang. Hal ini karena kecepatan arus lebih besar pada saat menuju pasang menyebabkan TSS tersebar lebih merata dan tidak menjadi cukup tinggi di suatu tempat, sehingga konsentrasinya menjadi lebih rendah.

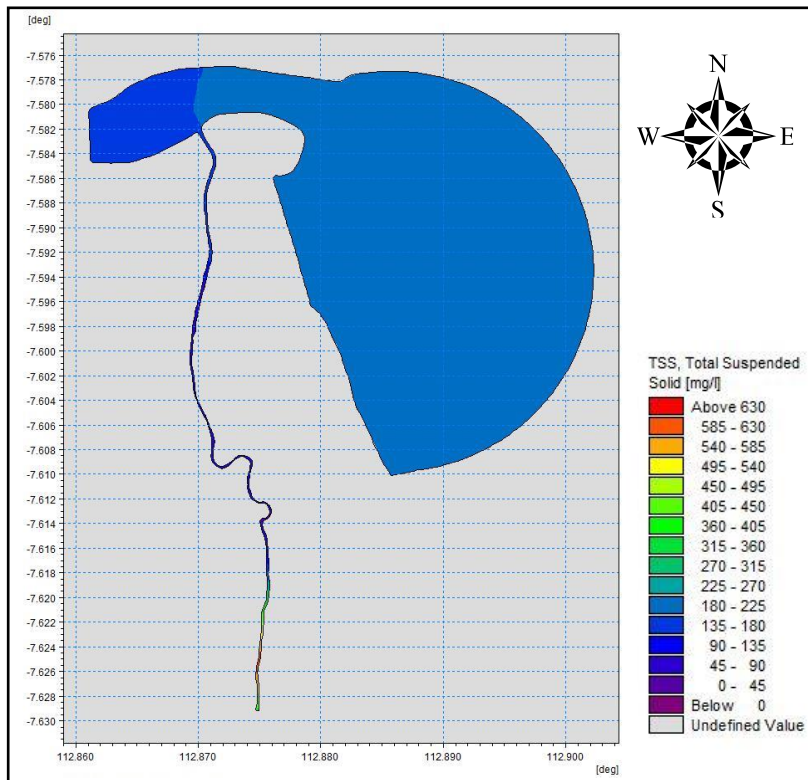
Distribusi TSS setelah dilakukan pembuangan limbah saat kondisi menuju surut ditunjukkan Gambar 4.36. Konsentrasi TSS di badan sungai menunjukkan nilai sekitar 44.99-579.25 mg/L, di daerah muara sekitar 80.00-163.20 mg/L, dan di laut sekitar 165.27-211.70 mg/L. Konsentrasi TSS terendah dan tertinggi berada di sungai. Konsentrasi terendah terendah yaitu 44.99 mg/L, sedangkan konsentrasi tertinggi 579.25 mg/L. Distribusi sebaran TSS pada saat kondisi surut terendah menunjukkan nilai 39.75-555.81 mg/L di badan sungai, 59.07-149.4 mg/L di daerah muara, dan 138.26-207.79 mg/L di daerah laut (Gambar 4.37). Konsentrasi TSS terendah dan tertinggi berada di sungai. Konsentrasi terendah terendah yaitu 39.75 mg/L, sedangkan konsentrasi tertinggi 555.81 mg/L.



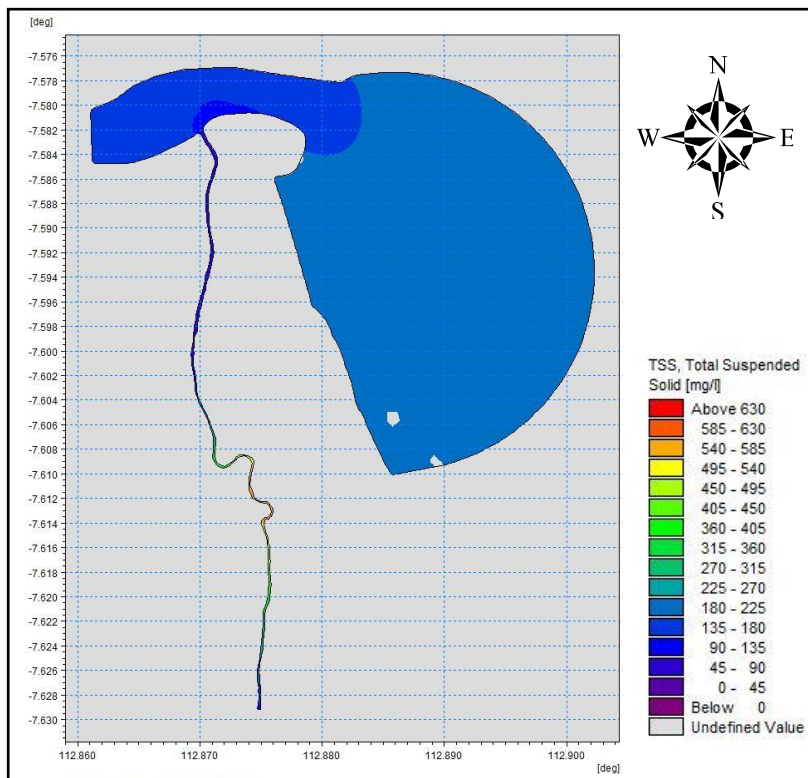
Gambar 4.33 Distribusi TSS Sebelum Pembuangan Limbah



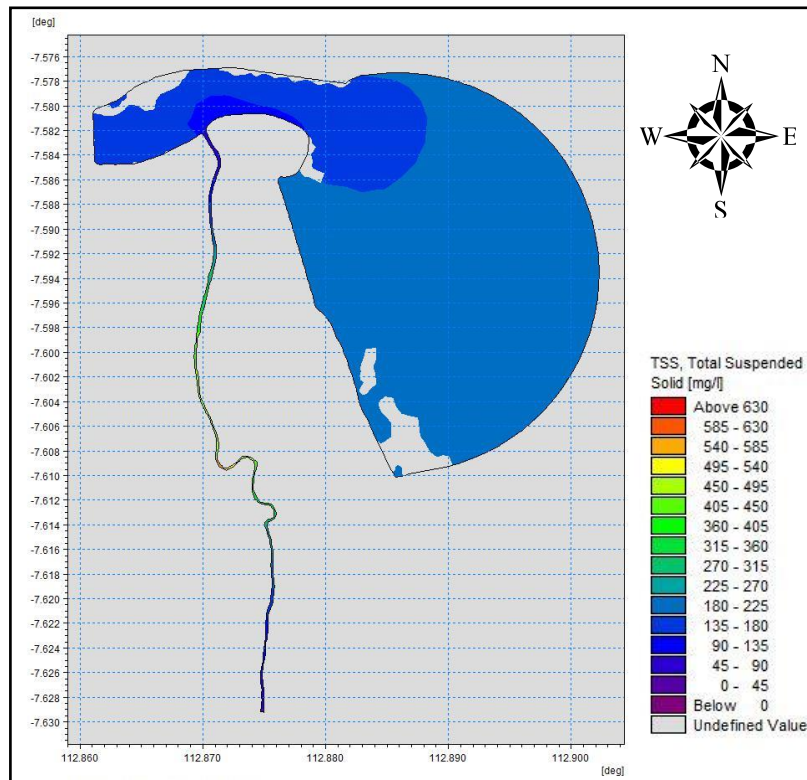
Gambar 4.34 Distribusi TSS saat Kondisi Menuju Pasang



Gambar 4.35 Distribusi TSS saat Kondisi Pasang Tertinggi



Gambar 4.36 Distribusi TSS saat Kondisi Menuju Surut



Gambar 4.37 Distribusi TSS saat Kondisi Surut Terendah

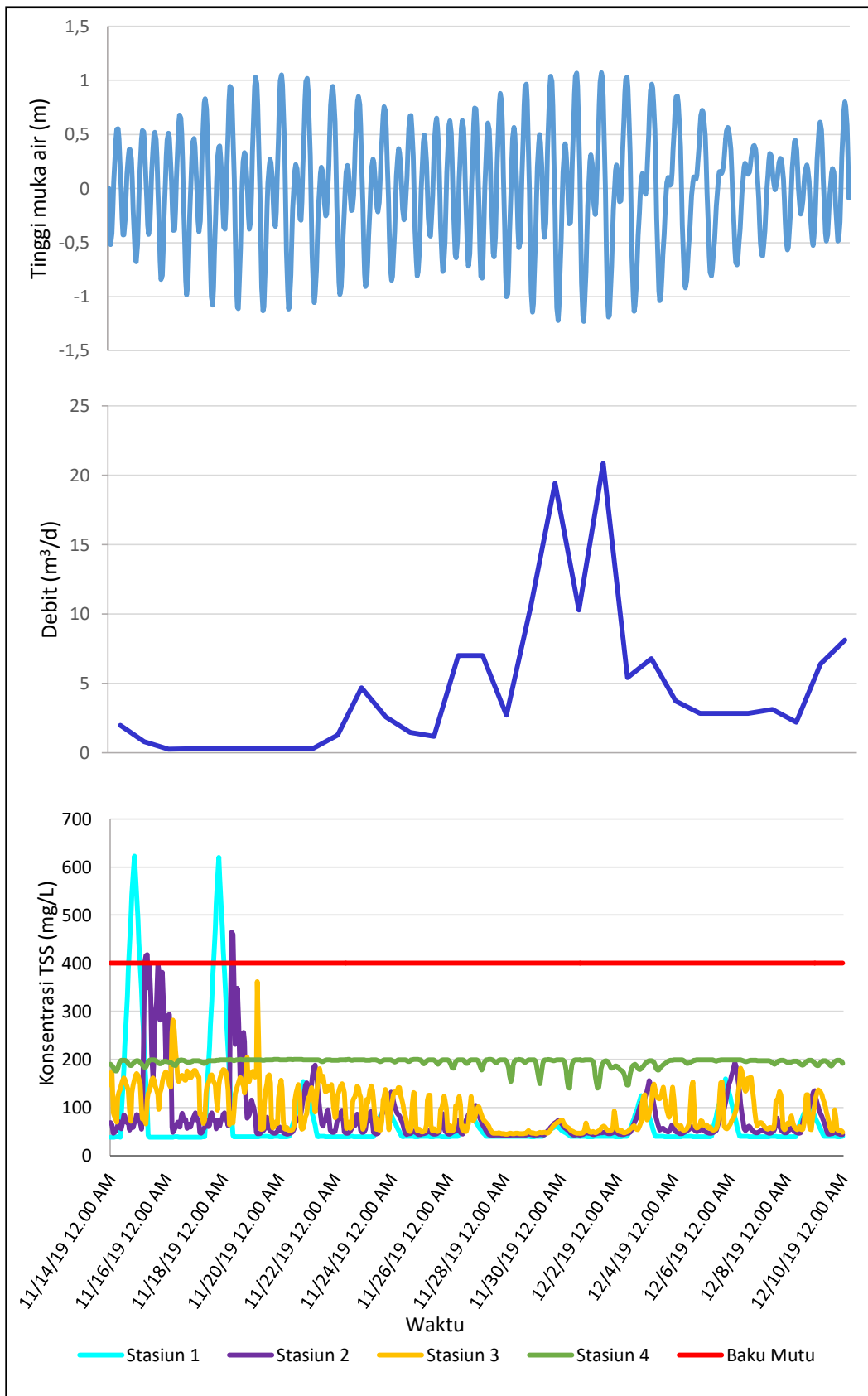
Perubahan konsentrasi TSS di akibat pembuangan limbah industri di Muara Welang pada beberapa *time step* ditunjukkan pada Tabel 4.14. Konsentrasi TSS pada 4 stasiun pengamatan sebelum dilakukan pembuangan limbah menunjukkan nilai yang relatif rendah dibandingkan saat pembuangan limbah. Saat pembuangan limbah ke sungai, konsentrasi TSS di stasiun 1 mengalami peningkatan dengan nilai mencapai 620.18 mg/L. Konsentrasi TSS di stasiun 1 setelah 12 jam pasca pembuangan limbah industri kembali menurun hingga 41.90 mg/L. Hal ini disebabkan limbah mengalir menuju hilir dan menyebabkan konsentrasi TSS di stasiun 2 mengalami peningkatan yang signifikan dengan nilai mencapai 460.21 mg/L. Konsentrasi TSS di stasiun 3 setelah 12 jam pasca pembuangan limbah industri lebih rendah dibandingkan sebelum pembuangan, namun setelah 33 jam pasca pembuangan limbah industri konsentrasi TSS mengalami peningkatan dengan nilai mencapai 361.37 mg/L. Konsentrasi TSS pada stasiun 4 tidak mengalami perubahan yang signifikan saat sebelum dan sesudah pembuangan limbah ke sungai.

Sebaran konsentrasi TSS saat kondisi pasang dan kondisi surut menunjukkan pola yang hampir sama. Perbedaan yang signifikan terlihat di bagian muara dan sungai. TSS di bagian muara pada saat kondisi pasang memiliki konsentrasi yang lebih tinggi daripada saat kondisi surut. Hal ini disebabkan karena saat kondisi pasang, arus yang masuk ke daerah sungai tertahan dan berbenturan dengan aliran dari debit sungai sehingga terjadi proses pengadukan dimana sedimen yang telah mengendap di dasar teraduk kembali ke permukaan dan menyebabkan konsentrasi TSS di mulut sungai menjadi lebih tinggi. Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Satriadi dan Sugeng (2004), saat kondisi pasang tinggi air pasang dapat membawa serta partikel padatan tersuspensi hingga jauh sampai ke hulu sehingga secara langsung mempengaruhi besarnya konsentrasi TSS di daerah tersebut sehingga proses ini akan berpengaruh terhadap peningkatan kekeruhan di suatu perairan.

Konsentrasi TSS di sungai pada saat pasang juga memiliki konsentrasi yang lebih tinggi daripada saat surut. Hal ini disebabkan karena pembuangan limbah industri dilakukan saat kondisi air menuju pasang. Ketika surut air mengalir ke arah hilir dengan membawa kandungan TSS, sehingga konsentrasi TSS lebih rendah saat kondisi surut. Konsentrasi TSS yang tinggi pada daerah laut disebabkan karena adanya kontaminasi dari Sungai Porong. Menurut penelitian Suntoyo (2015), konsentrasi TSS tertinggi di Muara Sungai Porong sebesar 300 mg/L. Sungai Porong sendiri terletak di sebelah Barat lokasi penelitian. Kandungan TSS yang dibawa oleh aliran sungai ini menyebabkan di area laut menjadi lebih tinggi dibandingkan pada bagian lainnya.

Tabel 4.14 Perubahan Konsentrasi TSS pada 4 Stasiun Pengamatan

Stasiun	Konsentrasi TSS pada <i>Time Step</i> (mg/L)			
	166	188	200	221
1	38.69	620.18	41.90	39.76
2	76.47	69.95	460.21	46.22
3	172.83	145.93	67.90	361.37
4	197.20	198.60	198.22	199.53



Gambar 4.38 Korelasi antara Pasang Surut dan Debit dengan Konsentrasi TSS

Selain dipengaruhi oleh pasang surut, konsentrasi TSS di Muara Welang juga dipengaruhi oleh debit sungai. Konsentrasi TSS memiliki pola yang berbanding terbalik dengan debit sungai. Konsentrasi TSS di stasiun 1, 2 dan 3 memiliki konsentrasi yang tinggi ketika debit sungai memiliki nilai yang rendah. Sebaliknya, konsentrasi TSS akan memiliki nilai yang semakin rendah ketika debit sungai yang mengalir memiliki nilai yang semakin tinggi. Hal itu disebabkan karena debit sungai yang tinggi dari daerah hulu membawa serta volume air yang besar, volume air yang besar tersebut akan mengencerkan konsentrasi TSS. Pengenceran konsentrasi TSS oleh volume air yang besar akan menyebabkan konsentrasinya semakin menurun. Selain itu, debit sungai yang besar dapat mengalirkan kandungan TSS yang tinggi di dalam air sungai ke daerah muara dan laut dalam kurun waktu yang relatif singkat.

Hasil pemodelan pada 4 stasiun pengamatan menunjukkan konsentrasi TSS masih memenuhi standar baku mutu berdasarkan peraturan PP No. 82 Tahun 2001 (Gambar 4.38). Nilai standar baku mutu untuk parameter TSS di Muara Welang adalah tidak lebih dari 400 mg/L. Konsentrasi TSS pada stasiun 1 pada beberapa waktu tertentu mengalami peningkatan yang signifikan dikarenakan pembuangan limbah ke Sungai Welang. Namun, keadaan itu tidak cukup lama, konsentrasi TSS berangsur-angsur menurun pada *time step* berikutnya. Hal ini disebabkan pada stasiun 1 yang berada di sungai mendapatkan pengaruh langsung dari debit sungai, sehingga TSS berpindah ke arah hilir dan terakumulasi di mulut sungai. Konsentrasi TSS semakin besar ke arah laut disebabkan karena arus bergerak menuju ke hulu saat terjadi pasang dan saat surut arus mengangkut TSS dari sungai ke laut. Selain itu, kedalaman perairan di Muara Welang relatif dangkal sehingga menyebabkan sedimen mudah teraduk dan tersuspensi akibat terjadinya pasang surut. Tingginya TSS pada daerah mulut sungai karena terjadi akumulasi sedimen dan bahan organik baik dari daratan maupun dari lautan, kondisi ini dapat mengganggu proses bioekologis ekosistem ini (Ulqodry et al, 2010).

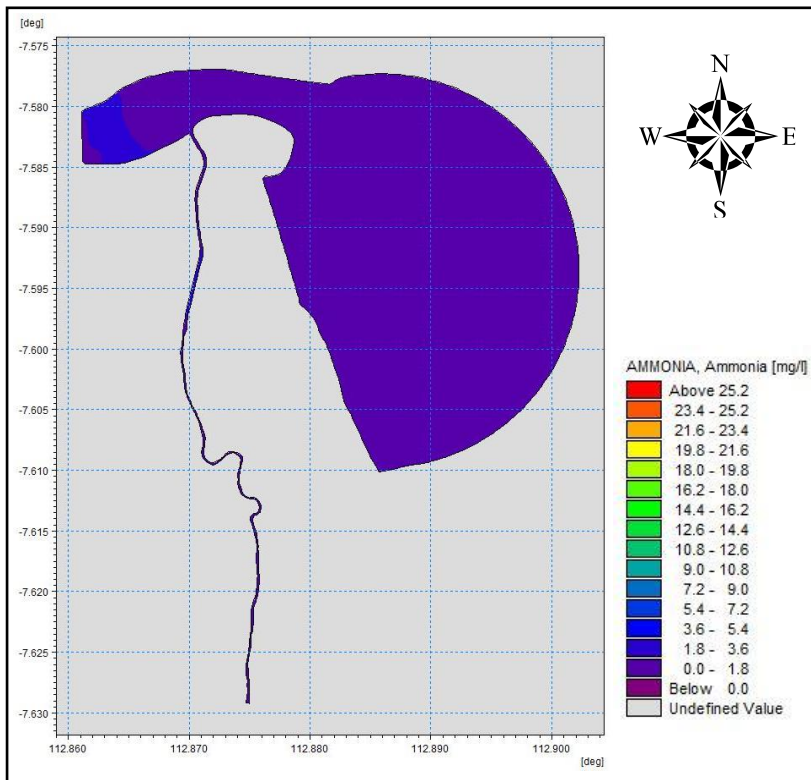
4.8.5 Hasil Pemodelan dan Analisis Sebaran Amonia

Sebaran konsentrasi amonia di Muara Welang sebelum dilakukan pembuangan limbah industri ke sungai ditunjukkan Gambar 4.39. Konsentrasi

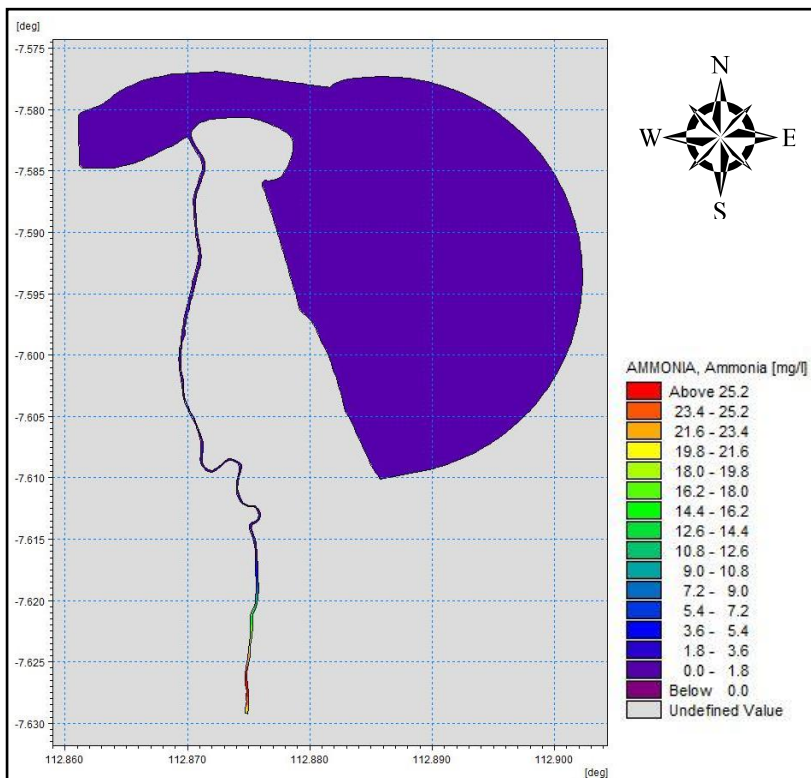
amonia di badan sungai menunjukkan nilai yang bervariasi sekitar 0.347-2.934 mg/L, di daerah muara konsentrasi amonia yaitu 0.487-2.669 mg/L, dan di daerah laut sekitar 0.111-0.663 mg/L. Konsentrasi amonia terendah berada di bagian laut yaitu 0.111 mg/L. Konsentrasi tertinggi berada di bagian sungai dengan nilai mencapai 2.93 mg/L.

Sebaran konsentrasi amonia setelah dilakukan pembuangan limbah industri ke sungai pada saat kondisi menuju pasang ditunjukkan Gambar 4.40. Gambar tersebut menunjukkan konsentrasi amonia sekitar 0.362-26.844 mg/L di badan sungai, konsentrasi amonia sekitar 0.388-1.781 mg/L di daerah muara, dan 0.082-0.663 mg/L di daerah laut. Konsentrasi terendah berada di daerah laut yaitu 0.082 mg/L. Konsentrasi tertinggi berada di daerah sungai dengan nilai mencapai 26.844 mg/L. Distribusi amonia saat kondisi pasang tertinggi ditunjukkan Gambar 4.41. Gambar tersebut menunjukkan konsentrasi amonia di badan sungai menunjukkan nilai sekitar 0.367-26.233 mg/L, di daerah muara menunjukkan konsentrasi amonia yang bervariasi yaitu 0.303-1.759 mg/L, dan di daerah laut sekitar 0.087-0.663 mg/L. Konsentrasi amonia terendah berada di daerah muara yaitu 0.303 mg/L. Konsentrasi amonia tertinggi berada di daerah sungai dengan nilai mencapai 26.233 mg/L.

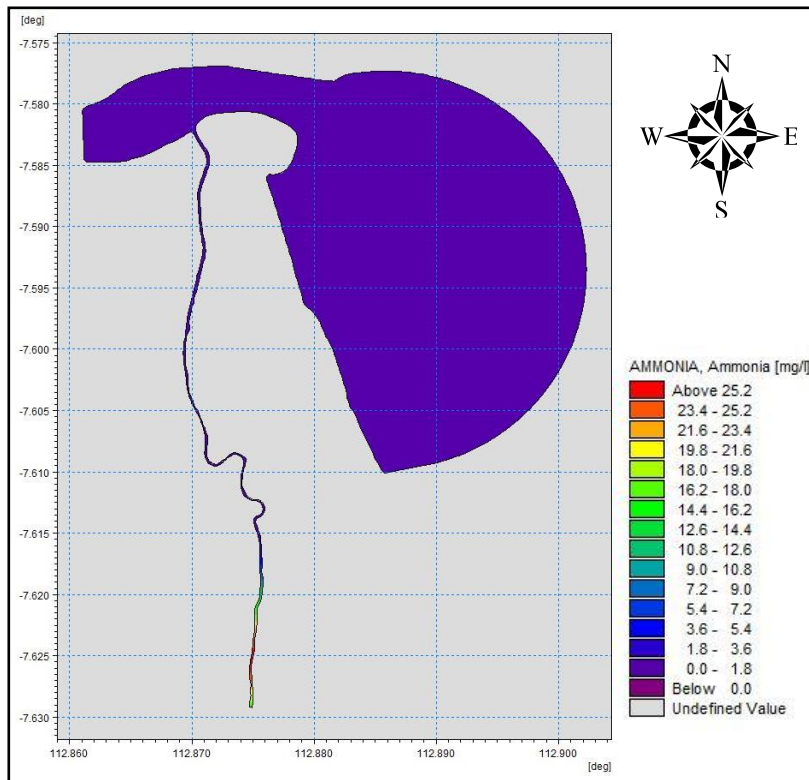
Distribusi konsentrasi amonia di Muara Welang setelah dilakukan pembuangan limbah industri ke sungai saat kondisi menuju surut ditunjukkan Gambar 4.42. Konsentrasi amonia di badan sungai menunjukkan nilai sekitar 0.598-24.881 mg/L, di daerah muara sekitar 0.971-1.726 mg/L, dan di daerah laut sekitar 0.367-2.124 mg/L. Konsentrasi amonia terendah berada di daerah laut dengan nilai 0.367 mg/L, sedangkan konsentrasi amonia tertinggi berada di bagian ujung sungai dengan nilai mencapai 24.881 mg/L. Distribusi amonia di Muara Welang setelah dilakukan pembuangan limbah industri ke sungai saat kondisi surut terendah ditunjukkan oleh Gambar 4.43. Konsentrasi amonia saat kondisi surut terendah menunjukkan nilai yang bervariasi yaitu 0.498-23.671 mg/L di badan sungai, 0.698-1.960 mg/L di daerah muara, dan 0.075-1.233 mg/L di daerah laut (Gambar 4.43). Konsentrasi amonia terendah berada di bagian sungai dengan nilai 0.498 mg/L. Konsentrasi amonia tertinggi juga berada di bagian ujung sungai dengan nilai mencapai 23.671 mg/L.



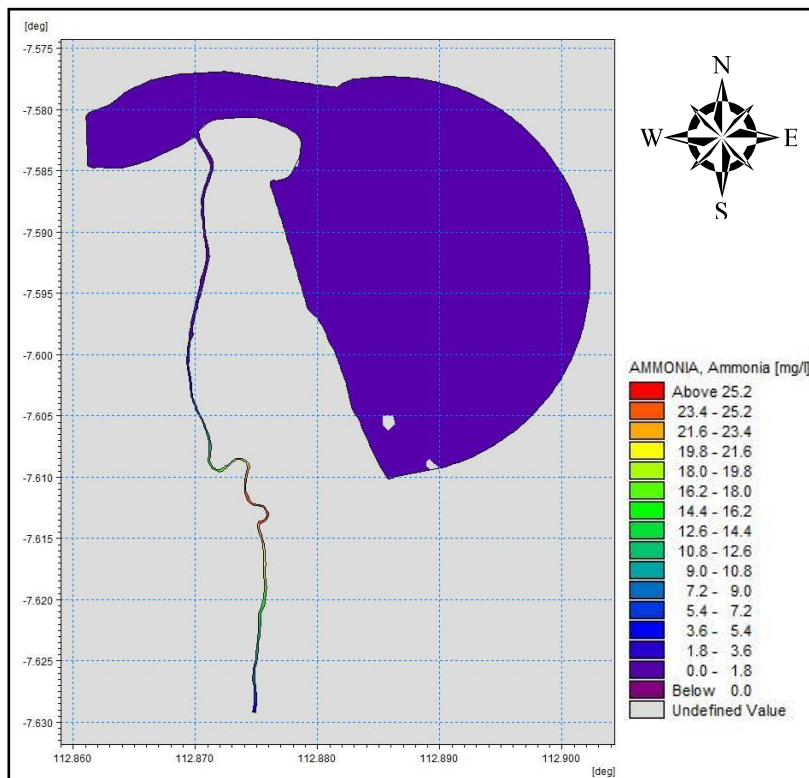
Gambar 4.39 Distribusi Amonia Sebelum Pembuangan Limbah



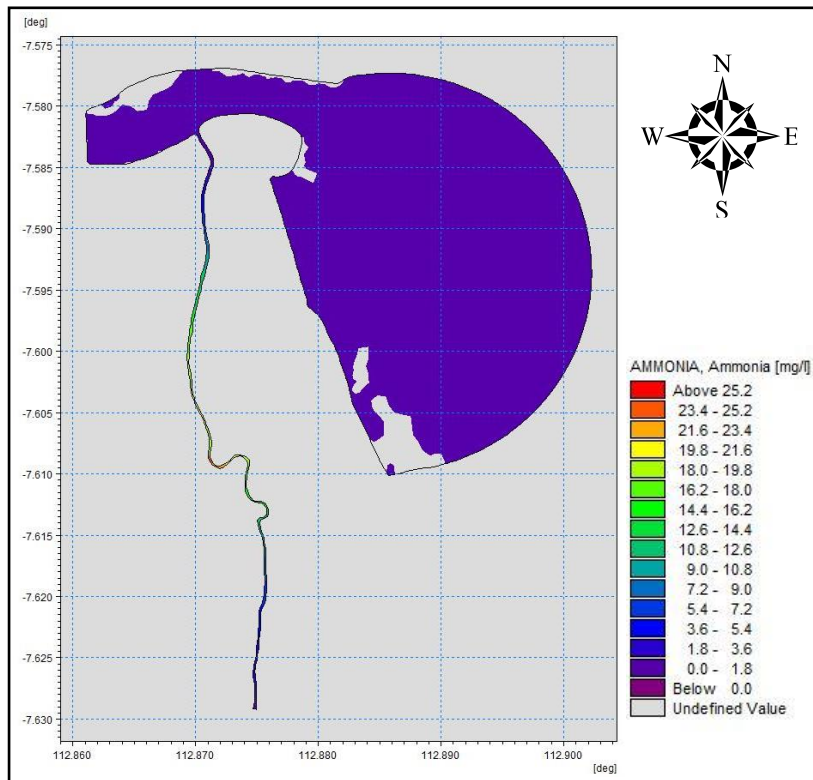
Gambar 4.40 Distribusi Amonia saat Kondisi Menuju Pasang



Gambar 4.41 Distribusi Amonia saat Kondisi Pasang Tertinggi



Gambar 4.42 Distribusi Amonia saat Kondisi Menuju Surut



Gambar 4.43 Distribusi Amonia saat Kondisi Surut Terendah

Tabel 4.15 menunjukkan perubahan konsentrasi amonia akibat pembuangan limbah pada beberapa *time step*. Konsentrasi amonia pada 4 stasiun pengamatan sebelum pembuangan limbah menunjukkan nilai yang relatif rendah dibandingkan saat pembuangan limbah ke sungai. Saat pembuangan limbah, konsentrasi amonia di stasiun 1 mengalami peningkatan mencapai 26.95 mg/L. Konsentrasi amonia di stasiun 1 setelah 12 jam pasca pembuang limbah kembali menurun. Hal ini disebabkan limbah industri mengalir menuju muara sehingga menyebabkan konsentrasi amonia di stasiun 2 mengalami peningkatan mencapai 19.10 mg/L. Konsentrasi amonia di stasiun 3 setelah 12 jam pasca pembuangan limbah lebih rendah dibandingkan sebelum pembuangan limbah industri, namun setelah 33 jam pasca pembuangan limbah konsentrasi amonia di muara meningkat hingga 14.00 mg/L. Konsentrasi amonia pada stasiun 4 relatif rendah dan tidak mengalami perubahan yang signifikan saat sebelum dan sesudah pembungan limbah.

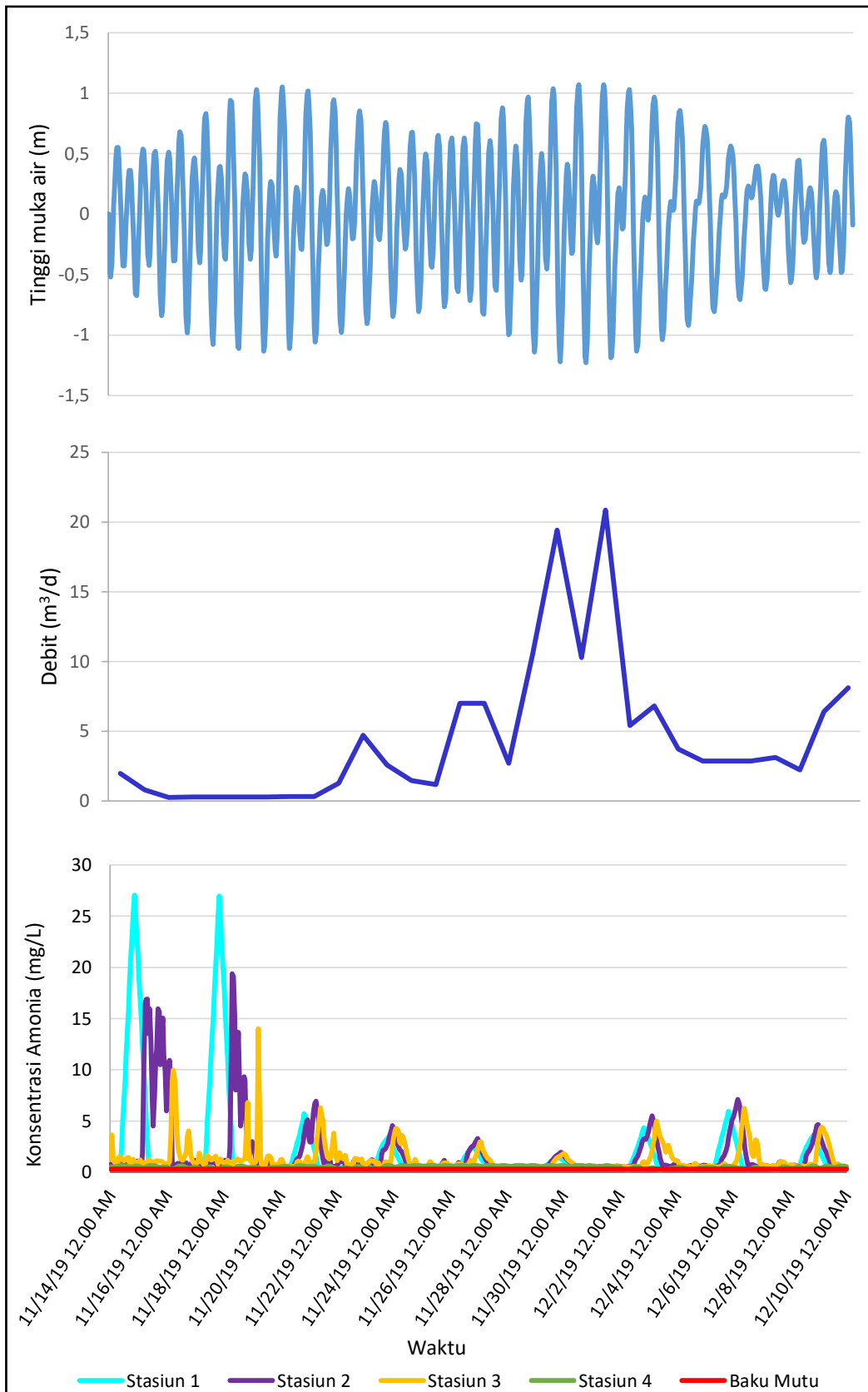
Konsentrasi amonia di sungai mengalami peningkatan yang signifikan setelah dilakukan pembuangan limbah industri. Hal ini menunjukkan limbah

industri penyamakan kulit mengandung konsentrasi amonia yang tinggi. Hasil pemodelan distribusi amonia pada saat pasang dan surut menunjukkan bahwa sebaran konsentrasi amonia pada kedua periode tersebut memiliki nilai yang tidak jauh berbeda. Hasil pemodelan menunjukkan konsentrasi amonia di laut menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan di sungai dan muara. Menurut Kusumaningtyas (2014), pH semakin meningkat ke arah laut lepas. Tinggi rendahnya pH dapat disebabkan oleh sedikit banyaknya bahan organik dari darat yang dibawa melalui aliran sungai. Hasil pemodelan menunjukkan konsentrasi amonia di laut lebih tinggi dibandingkan di sungai dan muara. Hal ini disebabkan karena kandungan pH di laut lebih tinggi. Konsentrasi amonia di dekat stasiun 1 meningkat pada saat kondisi pasang dimana kandungan amonia lebih tinggi daripada di daerah lainnya. Pada saat kondisi pasang, air dari laut mengalir menuju hulu, lokasi stasiun 1 dan 2 yang berada di bagian sungai dan dekat dengan sumber pencemar menyebabkan terjadi akumulasi konsentrasi amonia di wilayah tersebut.

Konsentrasi amonia di muara Welang juga dipengaruhi oleh debit sungai. Konsentrasi amonia memiliki pola yang berbanding terbalik dengan debit sungai. Saat debit sungai rendah, konsentrasi amonia di stasiun 1, 2 dan 3 yang berada di sungai memiliki nilai yang semakin tinggi. Sebaliknya, saat debit sungai semakin tinggi maka konsentrasi amonia akan semakin rendah. Konsentrasi amonia akan menurun saat debit tinggi disebabkan terjadi pengenceran amonia oleh volume air yang besar dari hulu. Selain itu, debit sungai yang tinggi akan mengalirkan kandungan amonia dalam air sungai menuju ke muara dalam kurun waktu yang relatif singkat.

Tabel 4.15 Perubahan Konsentrasi Amonia pada 4 Stasiun Pengamatan

Stasiun	Konsentrasi Amonia pada <i>Time Step</i> (mg/L)			
	166	188	200	221
1	0.49	26.95	0.59	0.49
2	1.16	0.84	19.10	0.48
3	0.85	1.22	0.74	14.00
4	0.50	0.33	0.32	0.41



Gambar 4.44 Korelasi antara Pasang Surut dan Debit dengan Konsentrasi Amonia

Hasil pemodelan pada 4 stasiun menunjukkan konsentrasi amonia di Muara Welang melebihi standar baku mutu berdasarkan KepmenLH No. 51 Tahun 2004 (Gambar 4.44). Standar baku mutu amonia untuk biota adalah tidak lebih dari 0.3 mg/L. Konsentrasi amonia yang tinggi menyebabkan berkurangnya jumlah oksigen terlarut pada suatu perairan. Oksigen terlarut digunakan oleh organisme aerob untuk menguraikan bahan organik (Kaiser, 1998).

4.8.6 Hasil Pemodelan dan Analisis Sebaran Krom

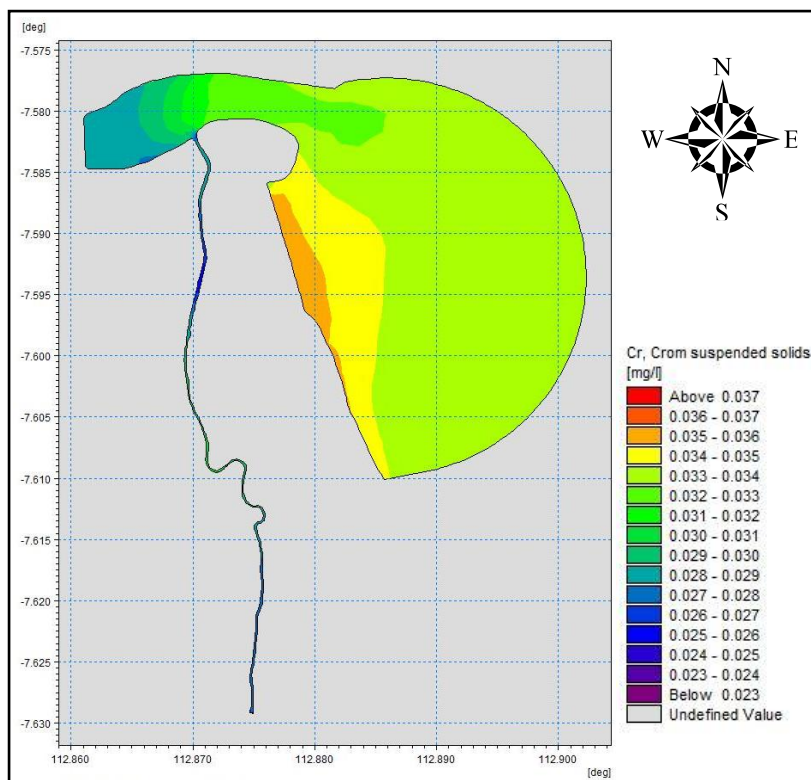
Distribusi sebaran krom sebelum pembuangan limbah ke sungai ditunjukkan Gambar 4.45. Konsentrasi krom di badan sungai sekitar 0.023-0.031 mg/L, di daerah muara dan di daerah laut konsentrasi krom sekitar 0.027-0.032 mg/L. Konsentrasi krom terendah berada di bagian sungai yaitu 0.023 mg/L. Konsentrasi tertinggi berada di daerah pesisir dekat pantai dengan nilai mencapai 0.032 mg/L.

Hasil pemodelan setelah dilakukan pembuangan limbah pada saat kondisi menuju pasang menunjukkan nilai krom di badan sungai sekitar 0.023-0.030 mg/L, konsentrasi krom di muara lebih tinggi sekitar 0.027-0.033 mg/L, dan konsentrasi krom semakin meningkat di daerah laut sekitar 0.033-0.036 mg/L. Distribusi konsentrasi krom pada saat kondisi menuju pasang ditunjukkan Gambar 4.46. Konsentrasi krom terendah berada di sungai dengan nilai sungai yaitu 0.023 mg/L, sedangkan konsentrasi krom tertinggi berada di pesisir dekat pantai sebesar 0.036 mg/L. Gambar 4.47 menunjukkan sebaran konsentrasi krom saat kondisi pasang tertinggi setelah adanya pembuangan limbah ke sungai, konsentrasi krom di badan sungai sekitar 0.023-0.031 mg/L, di daerah muara konsentrasi krom sekitar 0.025-0.034 mg/L, dan di laut sekitar 0.033-0.036 mg/L. Konsentrasi krom terendah di sungai yaitu 0.023 mg/L. Konsentrasi krom tertinggi berada di pesisir dengan nilai mencapai 0.036 mg/L.

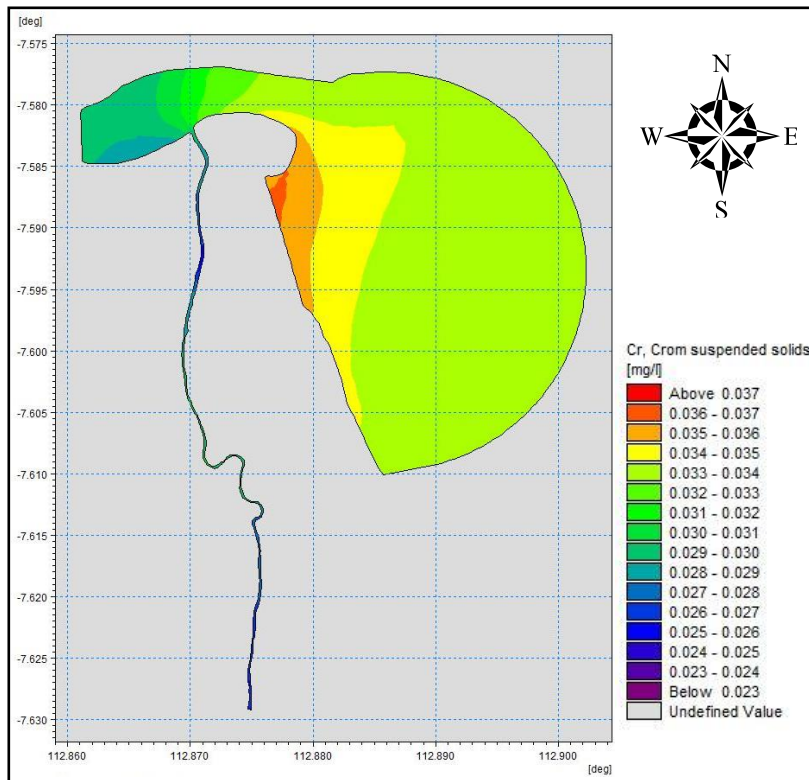
Distribusi krom setelah dilakukan pembuangan limbah industri ke Sungai Welang saat kondisi menuju surut ditunjukkan Gambar 4.48. Gambar tersebut menunjukkan konsentrasi krom di badan sungai sekitar 0.023-0.030 mg/L, di daerah muara konsentrasi krom sekitar 0.028-0.030 mg/L, dan di daerah laut sekitar 0.029-0.036 mg/L. Konsentrasi krom terendah berada di sungai dengan nilai 0.023

mg/L. Konsentrasi krom tertinggi berada di pesisir bagian barat dengan nilai mencapai 0.036 mg/L. Distribusi krom setelah dilakukan pembuangan limbah industri saat kondisi surut terendah ditunjukkan Gambar 4.49, konsentrasi krom di badan sungai sekitar 0.023-0.029 mg/L, di daerah muara konsentrasi krom menunjukkan nilai yang tinggi antara 0.027-0.031 mg/L, dan di daerah laut sekitar 0.029-0.037 mg/L. Konsentrasi krom terendah berada di badan sungai dengan nilai 0.023 mg/L. Konsentrasi krom tertinggi di daerah pesisir dekat pantai dengan nilai mencapai 0.037 mg/L.

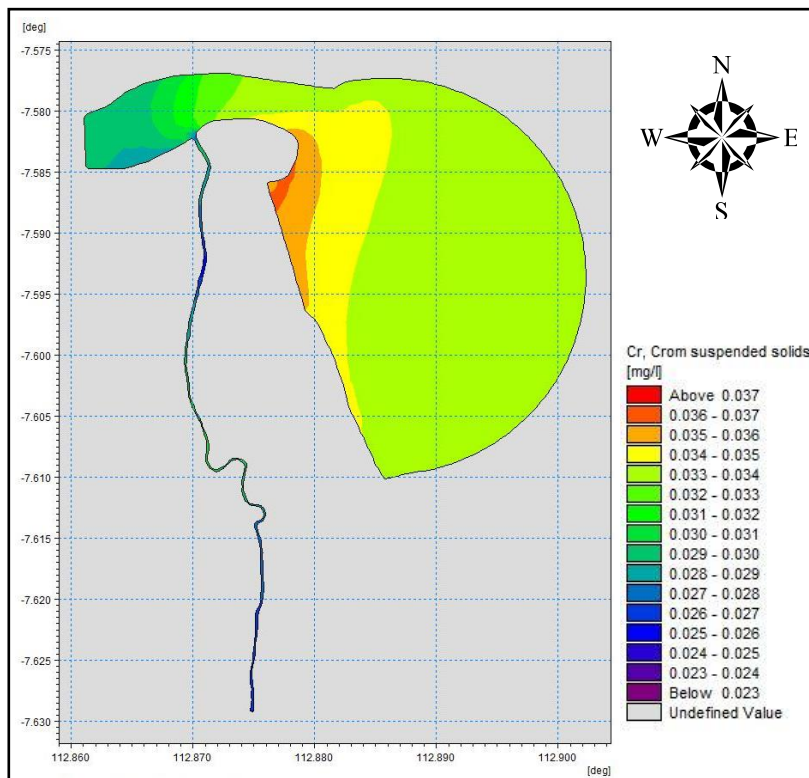
Perubahan konsentrasi krom akibat pembuangan limbah pada beberapa *time step* ditunjukkan pada Tabel 4.16. Konsentrasi krom pada 4 stasiun menunjukkan nilai yang relatif sama sebelum pembuangan, saat pembuangan, dan setelah pembuangan limbah industri ke sungai. Hal ini menunjukkan proses penyamakan kulit yang dilakukan PT. Carma Wira Jatim Pasuruan menggunakan logam berat krom dalam jumlah yang sedikit sehingga kandungan krom pada limbah cair industri relatif kecil.



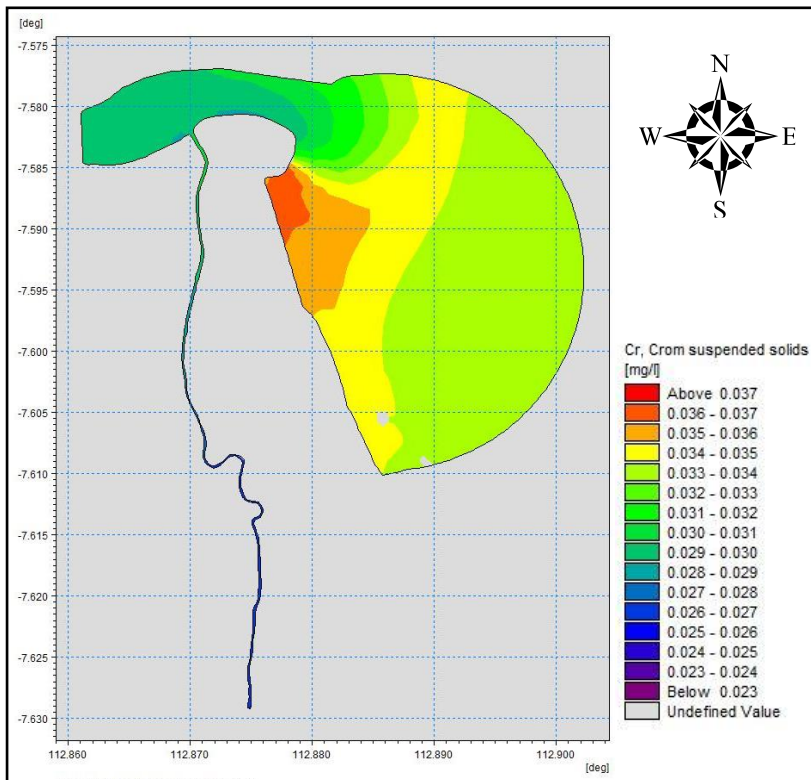
Gambar 4.45 Distribusi Krom Sebelum pembuangan Limbah



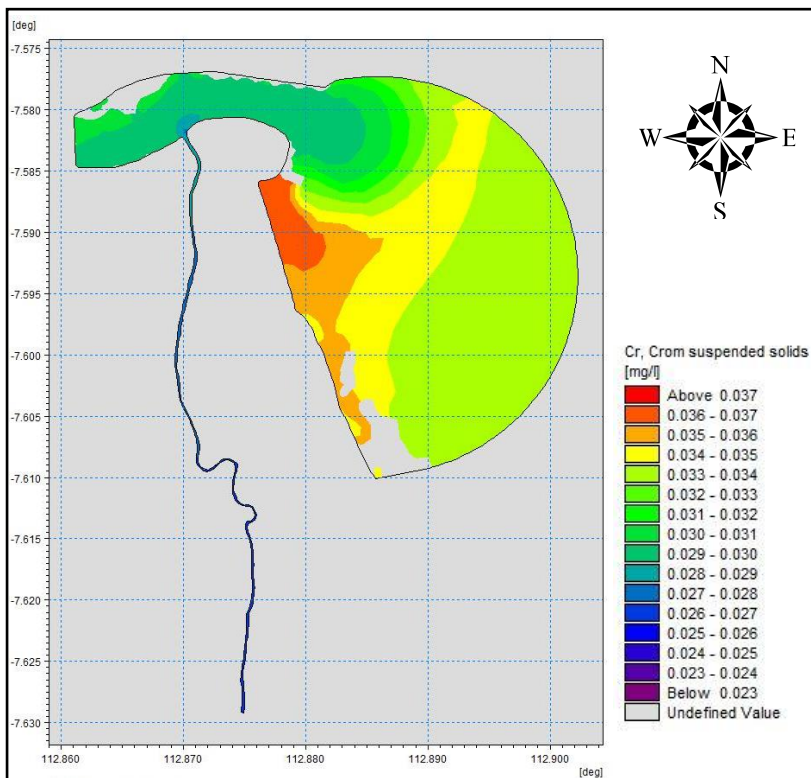
Gambar 4.46 Distribusi Krom saat Kondisi Menuju Pasang



Gambar 4.47 Distribusi Krom saat Kondisi Pasang Tertinggi



Gambar 4.48 Distribusi Krom saat Kondisi Menuju Surut



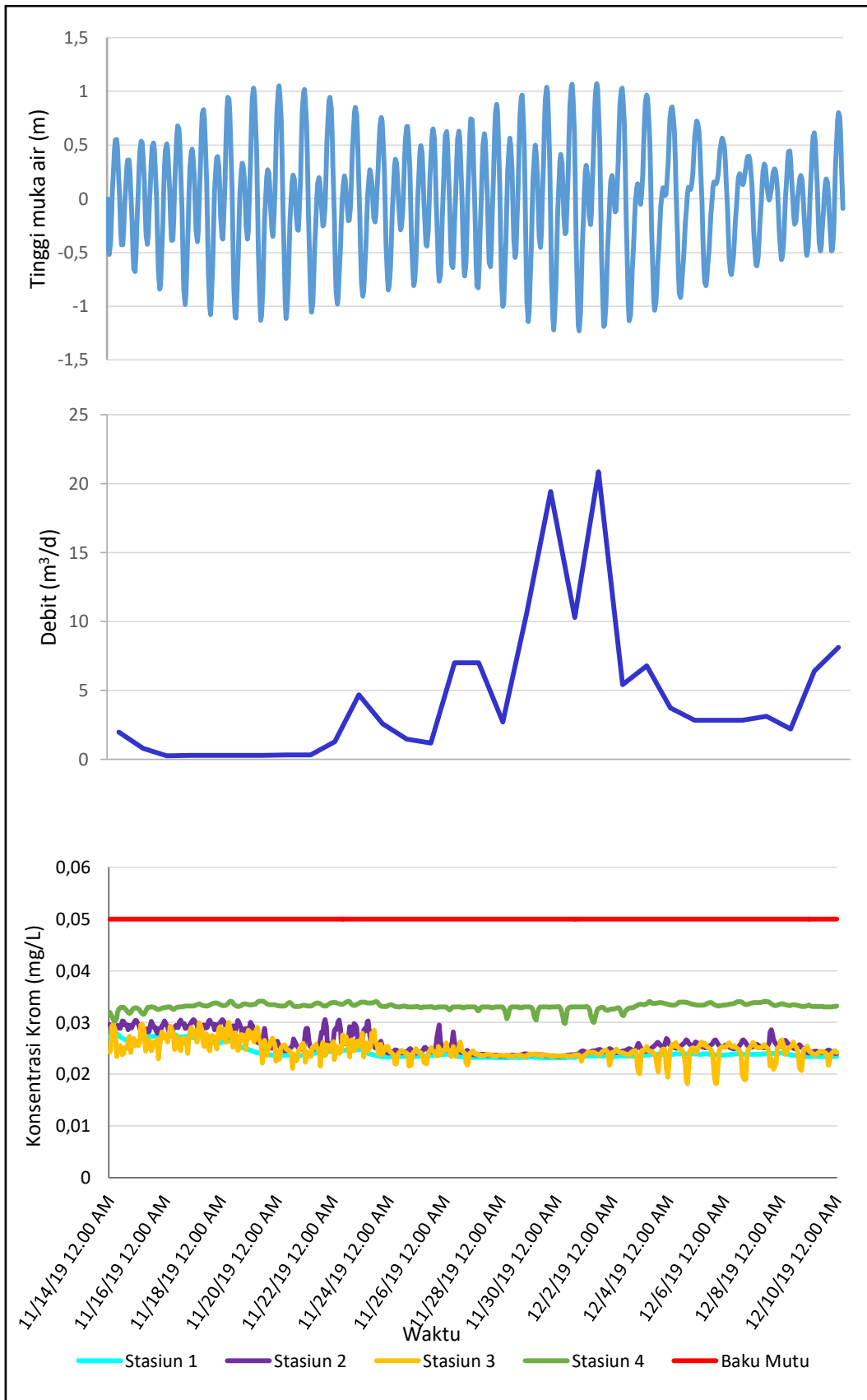
Gambar 4.49 Distribusi Krom saat Kondisi Surut Terendah

Hasil pemodelan menunjukkan bahwa nilai konsentrasi krom di Muara Welang saat kondisi pasang tidak jauh berbeda dengan saat kondisi surut. Konsentrasi krom tertinggi pada saat kondisi pasang dan kondisi surut menunjukkan nilai yang hampir sama yaitu 0.023-0.037 mg/L. Perbedaan konsentrasi krom saat kondisi pasang dan kondisi surut terlihat pada pola penyebarannya. Sebaran konsentrasi krom pada saat kondisi pasang terakumulasi lebih besar di dekat daerah muara dan pantai. Sedangkan pada saat kondisi surut, sebaran konsentrasi krom menjadi semakin melebar ke arah laut. Hal ini disebabkan karena saat pasang arus mengalir ke arah hulu, dan saat surut arus mengalir menuju ke laut.

Tabel 4.16 Perubahan Konsentrasi Krom pada 4 Stasiun Pengamatan

Stasiun	Konsentrasi Krom pada <i>Time Step</i> (mg/L)			
	166	188	200	221
1	0.0271	0.0306	0.0273	0.0332
2	0.0259	0.0294	0.0249	0.0338
3	0.0266	0.0274	0.0283	0.0341
4	0.0242	0.0267	0.0280	0.0336

Selain dipengaruhi oleh pasang surut, konsentrasi krom di Muara Welang juga dipengaruhi oleh debit sungai. Konsentrasi krom memiliki pola yang berbanding terbalik dengan debit sungai. Konsentrasi krom di stasiun 1, 2 dan 3 yang berada di sungai memiliki konsentrasi yang tinggi ketika debit sungai memiliki nilai yang rendah. Sebaliknya, konsentrasi krom akan memiliki nilai yang semakin rendah ketika debit sungai semakin tinggi. Hal itu disebabkan karena debit sungai yang tinggi membawa serta volume air yang besar dari daerah hulu sungai, volume air yang besar tersebut akan mengencerkan konsentrasi krom yang tinggi. Pengenceran konsentrasi krom oleh volume air yang besar menyebabkan konsentrasi krom semakin rendah. Selain itu, debit sungai yang tinggi akan mengalirkan kandungan krom dalam air sungai menuju ke muara dalam kurun waktu yang relatif singkat.



Gambar 4.50 Korelasi antara Pasang Surut dan Debit dengan Konsentrasi Krom

Hasil pemodelan pada 4 stasiun pengamatan menunjukkan konsentrasi krom memenuhi standar baku mutu berdasarkan PP No. 82 Tahun 2001 (Gambar 4.50). Nilai standar baku mutu untuk parameter krom adalah tidak lebih 0.05 mg/L. Konsentrasi krom tertinggi berada di stasiun 4 yang berada di laut dan terendah di stasiun 3 yang berada di muara. Konsentrasi krom dalam air pada stasiun 4 yang terletak di laut dipengaruhi oleh proses pengadukan dan pengendapan yang disebabkan oleh arus dan kedalaman perairan. Tingginya kandungan krom pada stasiun 4 berhubungan dengan kedalaman perairan yang relatif dangkal dibandingkan dengan stasiun lainnya. Pada perairan yang dangkal, proses resuspensi sedimen akan lebih tinggi, sehingga konsentrasi krom yang terkandung dalam sedimen tersuspensi ke kolom perairan.

4.8.7 Hasil Pemodelan dan Analisis Sebaran Sulfida

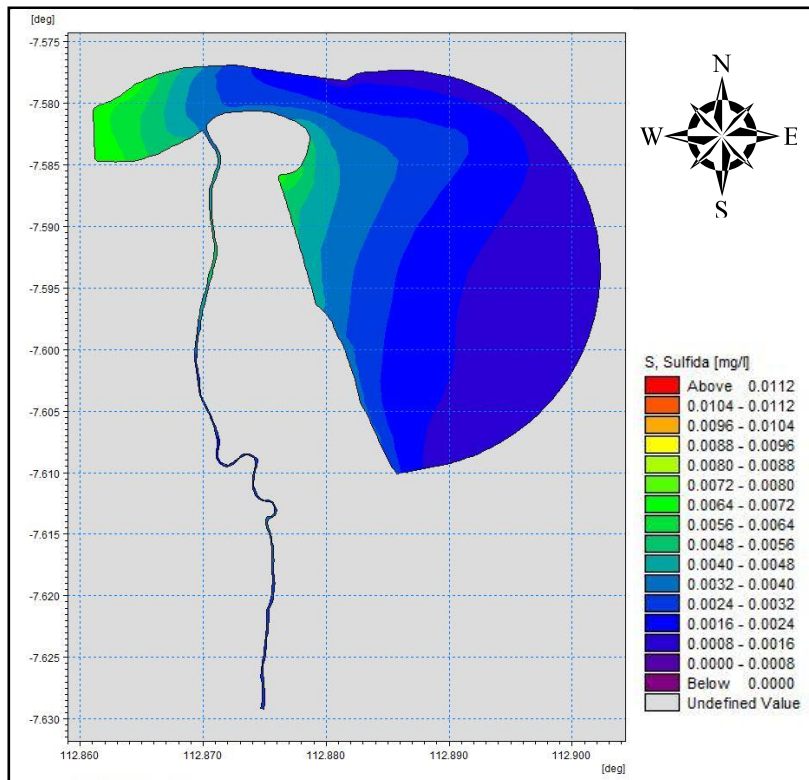
Hasil pemodelan sulfida sebelum dilakukan pembuangan limbah industri ke Sungai Welang ditunjukkan Gambar 4.51. Konsentrasi sulfida di badan sungai sekitar 0.0019-0.0049 mg/L, di daerah muara konsentrasi sulfida meningkat sekitar 0.0020-0.0071 mg/L, dan di daerah laut konsentrasi sulfida sekitar 0.0013-0.0068 mg/L. Konsentrasi sulfida terendah berada di daerah laut yaitu 0.0013 mg/L. Konsentrasi sulfida tertinggi berada di daerah muara dengan nilai mencapai 0.0071 mg/L.

Hasil pemodelan setelah dilakukan pembuangan limbah industri ke Sungai Welang pada saat kondisi menuju pasang menunjukkan nilai sulfida di badan sungai meningkat sekitar 0.0022-0.0118 mg/L, di daerah muara konsentrasi sulfida sekitar 0.0026-0.0076 mg/L, dan di daerah laut sekitar 0.0013-0.0065 mg/L. Distribusi sebaran sulfida pada saat kondisi menuju pasang ditunjukkan Gambar 4.52. Konsentrasi sulfida terendah berada di laut dengan nilai 0.0013 mg/L, sedangkan konsentrasi sulfida tertinggi berada di sungai dengan nilai mencapai 0.0118 mg/L. Gambar 4.53 menunjukkan sebaran sulfida saat kondisi pasang tertinggi sesudah pembuangan limbah, konsentrasi sulfida di badan sungai sekitar 0.0019-0.0116 mg/L, di daerah muara konsentrasi sulfida sekitar 0.0024-0.0076 mg/L, dan di daerah laut sekitar 0.0013-0.0067 mg/L. Konsentrasi sulfida terendah di laut yaitu

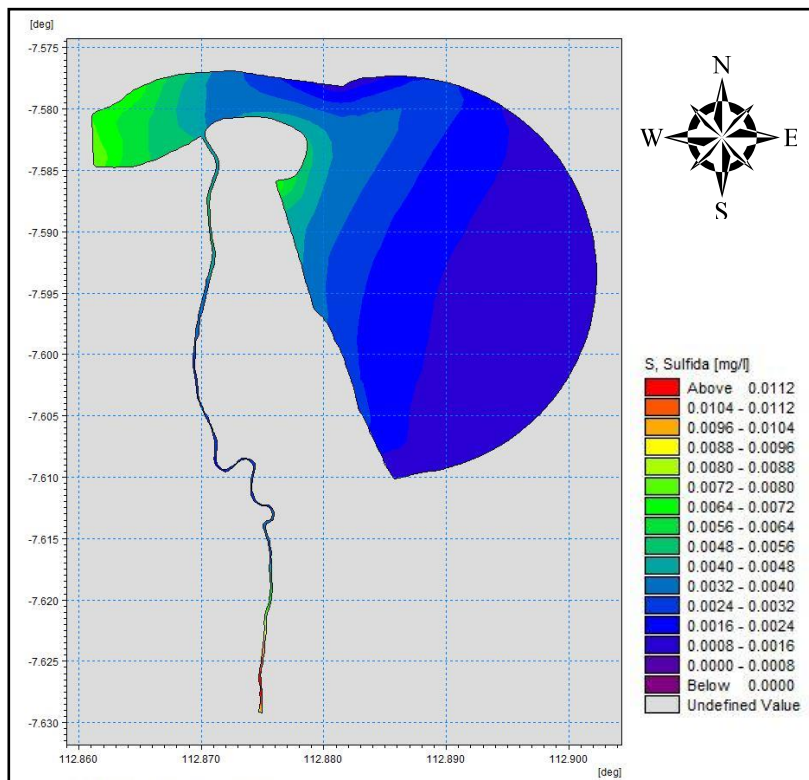
0.0013 mg/L. Konsentrasi sulfida tertinggi berada di ujung sungai dengan nilai mencapai 0.0116 mg/L.

Distribusi konsentrasi sulfida setelah dilakukan pembuangan limbah industri ke Sungai Welang saat kondisi menuju surut ditunjukkan Gambar 4.54. Konsentrasi sulfida di badan sungai memiliki nilai yang tinggi yaitu antara 0.0022-0.0113 mg/L, di daerah muara konsentrasi sulfida sekitar 0.0023-0.0077 mg/L, dan di daerah laut sekitar 0.0013-0.0068 mg/L. Konsentrasi sulfida terendah berada di daerah laut dengan nilai 0.0013 mg/L. Konsentrasi sulfida tertinggi berada di daerah sungai dengan nilai mencapai 0.0113 mg/L. Distribusi konsentrasi sulfida setelah dilakukan pembuangan limbah industri ke sungai saat kondisi surut terendah ditunjukkan Gambar 4.55. Gambar tersebut menunjukkan konsentrasi sulfida di badan sungai menunjukkan nilai yang tinggi sekitar 0.0021-0.0112 mg/L, di daerah muara konsentrasi sulfida antara 0.0032-0.0081 mg/L, dan di daerah laut sekitar 0.0013-0.0069 mg/L. Konsentrasi sulfida terendah berada di daerah laut dengan nilai 0.0013 mg/L. Konsentrasi sulfida tertinggi berada di daerah sungai dengan nilai mencapai 0.0112 mg/L.

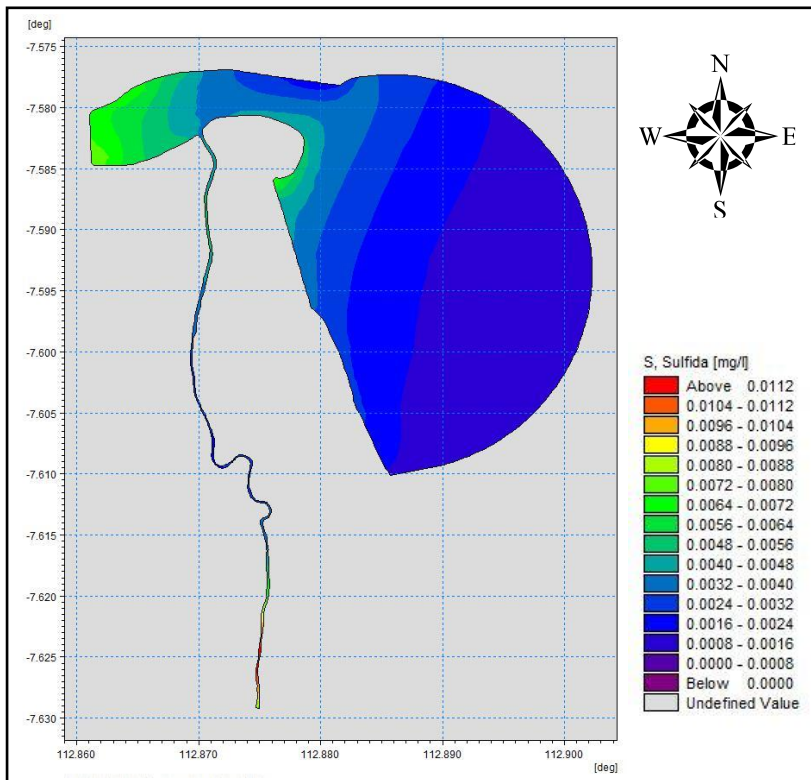
Perubahan konsentrasi sulfida akibat pembuangan limbah industri di Muara Welang pada beberapa *time step* ditunjukkan pada Tabel 4.17. Konsentrasi sulfida pada 4 stasiun pengamatan sebelum pembuangan limbah menunjukkan nilai yang relatif rendah dibandingkan saat pembuangan limbah ke sungai. Saat pembuangan limbah ke sungai, konsentrasi sulfida di stasiun 1 mengalami peningkatan hingga 0.0118 mg/L. Konsentrasi sulfida di daerah sungai mengalami peningkatan setelah dilakukan pembuangan limbah menunjukkan bahwa limbah penyamakan kulit tersebut banyak mengandung sulfida. Setelah 12 jam pasca pembuangan limbah, sulfida di stasiun 1 kembali menurun hingga 0.0027 mg/L. Hal ini disebabkan karena limbah industri mengalir menuju muara dan menyebabkan konsentrasi sulfida di stasiun 2 mengalami peningkatan mencapai 0.0091 mg/L. Konsentrasi sulfida di stasiun 3 mengalami peningkatan yang signifikan setelah 33 jam pasca pembuangan limbah dengan nilai mencapai 0.0080 mg/L. Konsentrasi sulfida di stasiun 4 setelah 12 jam pasca pembuangan limbah memiliki konsentrasi yang lebih tinggi dibandingkan sebelum pembuangan dan saat pembuangan limbah industri ke Sungai Welang.



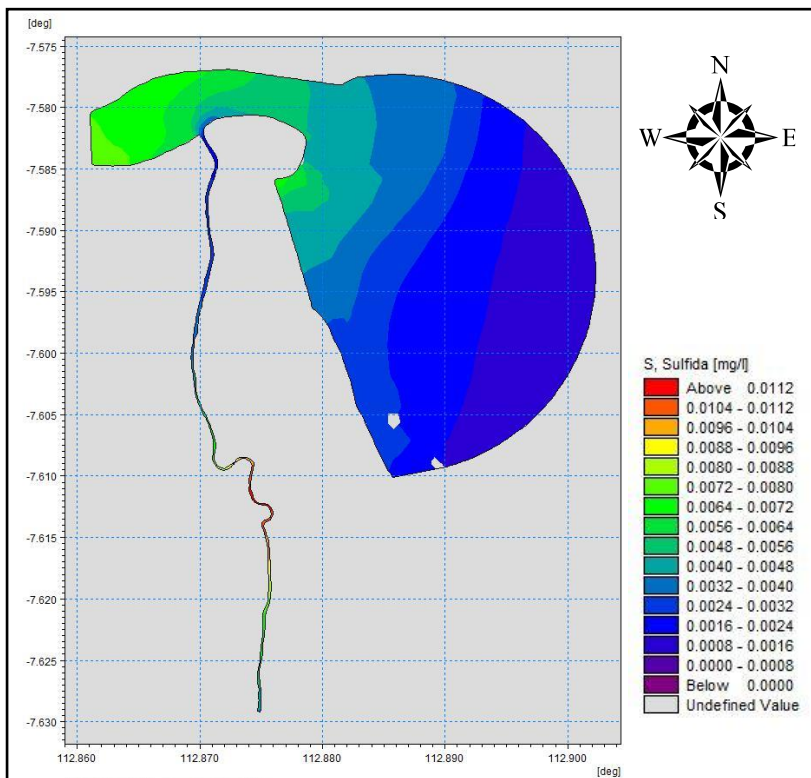
Gambar 4.51 Distribusi Sulfida Sebelum pembuangan limbah



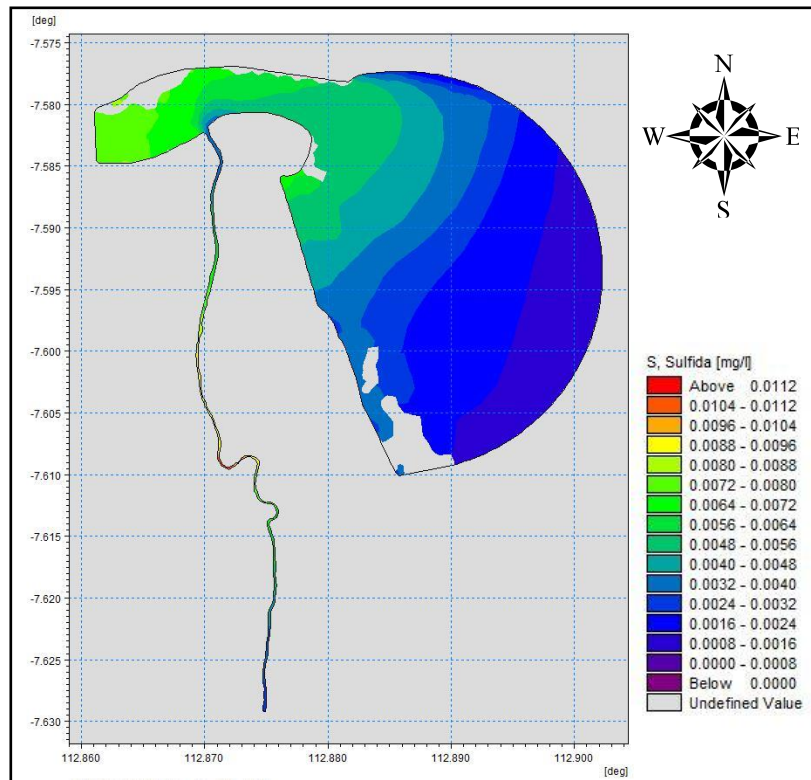
Gambar 4.52 Distribusi Sulfida saat Kondisi Menuju Pasang



Gambar 4.53 Distribusi Sulfida saat Kondisi Pasang Tertinggi



Gambar 4.54 Distribusi Sulfida saat Kondisi Menuju Surut

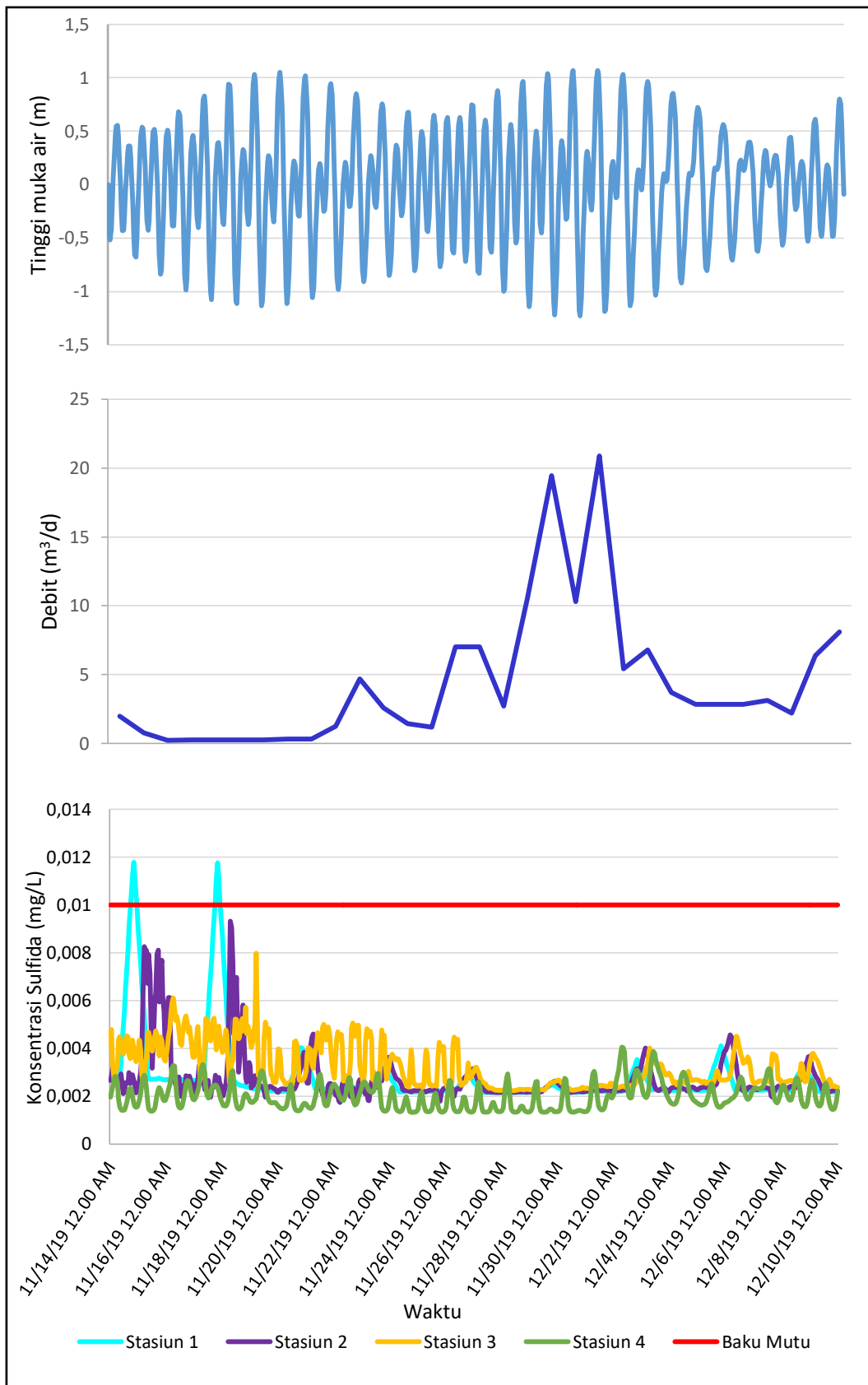


Gambar 4.55 Distribusi Sulfida saat Kondisi Surut Terendah

Tabel 4.17 Perubahan Konsentrasi Sulfida pada 4 Stasiun Pengamatan

Stasiun	Konsentrasi Sulfida pada <i>Time Step</i> (mg/L)			
	166	188	200	221
1	0.0027	0.0118	0.0027	0.0023
2	0.0020	0.0025	0.0091	0.0028
3	0.0036	0.0045	0.0034	0.0080
4	0.0019	0.0024	0.0030	0.0019

Hasil pemodelan sulfida saat pasang dan surut menunjukkan nilai yang tidak jauh berbeda serta mempunyai pola persebaran yang sama (Gambar 4.55). Sebaran Konsentrasi sulfida menunjukkan nilai yang semakin kecil ke arah laut pada saat pasang dan surut. Sebaran konsentrasi sulfida mengikuti pola arus dimana pada saat pasang arus mengalir menuju sungai dan daratan. Sehingga konsentrasi di muara dan pantai semakin besar. Sedangkan pada saat surut, arus mengalir meninggalkan pantai menyebabkan sebaran sulfida di muara menjadi lebih rendah.



Gambar 4.56 Korelasi antara Pasang Surut dan Debit dengan Konsentrasi Sulfida

Konsentrasi sulfida di Muara Welang selain dipengaruhi oleh pasang surut juga dipengaruhi oleh debit sungai. Konsentrasi sulfida memiliki pola yang berbanding terbalik dengan debit. Saat debit rendah, sulfida di stasiun 1, 2 dan 3 yang berada di sungai memiliki konsentrasi semakin tinggi. Sebaliknya, saat debit semakin tinggi maka konsentrasi sulfida akan semakin rendah. Debit sungai yang tinggi membawa volume air yang besar dari hulu sungai, volume air yang besar ini akan mengencerkan konsentrasi sulfida. Pengenceran sulfida yang disebabkan oleh besarnya volume air akan menyebabkan konsentrasinya semakin rendah.

Perbandingan hasil pemodelan sulfida dengan KepMenLH Tahun 2004 menunjukkan nilai sulfida pada 4 stasiun masih memenuhi baku mutu. Baku mutu untuk parameter sulfida yaitu tidak lebih dari 0.01 mg/L (Gambar 4.56). Namun setelah dilakukan pembuangan limbah industri ke sungai, konsentrasi sulfida di stasiun 1 mengalami peningkatan. Konsentrasi sulfida di stasiun 1 setelah pembuangan limbah menjadi lebih tinggi dari baku mutu.

Konsentrasi sulfida tertinggi berada di stasiun 3 dan terendah di stasiun 4. Hasil penelitian ini menunjukkan meningkat konsentrasi sulfida diikuti dengan meningkatnya konsentrasi COD. Besarnya atau kecilnya nilai sulfida dapat mempengaruhi nilai COD dalam air. COD digunakan untuk mewakili permintaan oksigen untuk mengurangi nilai sulfida dalam air. Kandungan Sulfida yang tinggi akan meningkatkan konsentrasi COD dalam air (Park et al., 1995). Kandungan kimia sludge dapat menurunkan DO serta meningkatkan COD.

4.9 Penanggulangan Pencemaran di Muara Welang

Upaya pengendalian pencemaran air merupakan usaha pengendalian pencemaran air yang dilakukan oleh perusahaan, pemerintah, serta masyarakat, dalam mengurangi tingkat pencemaran air sungai. Kualitas air sungai harus tetap memenuhi baku mutu sehingga dapat dimanfaatkan sesuai dengan peruntukannya serta berkelanjutan. Beberapa hal yang dapat dilakukan dalam upaya pencegahan pencemaran air adalah sebagai berikut:

1. Pemantauan kualitas air secara rutin

Pemantauan kualitas air sungai sebaiknya dilakukan secara rutin untuk memperoleh data yang mendukung upaya pengendalian pencemaran sungai.

Kegiatan tersebut dilakukan dengan pengukuran parameter kualitas air sungai dan pemeriksaan air limbah dari kegiatan industri yang membuang limbah ke Sungai Welang. Saat ini pemantauan kualitas di Sungai Welang hanya dilakukan di AWLR saja sehingga belum tersedia data kualitas air sungai akibat pembuangan limbah industri. Oleh karena itu perlu adanya penambahan jumlah titik pantau di dekat industri.

2. Meningkatkan pengelolaan limbah

Upaya untuk mengurangi pencemaran limbah cair yaitu dengan cara melakukan pengelolaan limbah sebelum dibuang ke sungai. Pengelolaan limbah dapat dilakukan dengan cara pembuatan instalasi pembuangan air limbah (IPAL). PT Carma Wira Jatim telah memiliki IPAL namun tidak dapat difungsikan dengan baik. IPAL yang dimiliki perusahaan tersebut tidak berfungsi karena pompa air rusak akibat terbakar sehingga tidak bisa mengalirkan air untuk mengolah limbah. Mesin IPAL berkarat dan rusak, serta instalasi kelistrikan terbakar. Oleh karena itu perlu dilakukan pengecekan dan perbaikan kinerja IPAL.

3. Menetapkan daya tampung beban pencemaran

Penetapan daya tampung pencemaran dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk mengatur kebijakan dalam menetapkan tata ruang, memberikan izin bagi industri atau kegiatan usaha lain yang mempengaruhi kualitas air baik secara langsung maupun tidak langsung, program kerja pengendalian pencemaran, memberikan izin pembuangan limbah ke sungai, dan sebagai dasar pengalokasian beban yang diperoleh masuk ke sungai. Hal yang dilakukan sebagai upaya pengendalian pencemaran sungai sehingga baku mutu air sungai yang telah ditetapkan dapat dipenuhi antara lain:

- a. Perlu adanya kajian daya tampung sungai dalam dokumen pengelolaan lingkungan bagi industri yang membuang limbah ke Sungai Welang.
- b. Melakukan pembatasan jumlah produksi bagi industri baru dan industri yang sudah ada sehingga tidak menambah beban pencemaran untuk parameter tertentu yang melebihi daya tampung Sungai Welang.

4. Meningkatkan pengawasan dan pemantauan pembuangan air limbah ke sungai.

Pencemaran air dapat diminimalisir dengan melakukan pengawasan terhadap pembuangan air limbah ke sungai. Pengawasan dilakukan untuk menjamin pelaksanaan persyaratan yang tercantum dalam izin lingkungan pembuangan air limbah ke sungai dan persyaratan teknis pengendalian pencemaran air yang tercantum dalam dokumen AMDAL atau UKL/ UPL. Pemantauan dan pengawasan kualitas air limbah oleh instansi terkait dapat dilakukan pada IPAL yang dimiliki perusahaan. Hal ini dilakukan untuk mengantisipasi kualitas air limbah yang melebihi baku mutu dan kemungkinan adanya sumber pembuangan lain tanpa melalui IPAL. Kualitas air sungai juga perlu dilakukan pada saat sebelum dan sesudah pembuangan limbah industri.

5. Penegakan sanksi hukum maupun penghargaan kepada industri

Penegakan sanksi hukum berupa peringatan, pencabutan ijin perusahaan dapat dilakukan jika industri melanggar peraturan pemerintah tentang baku mutu limbah. Sedangkan, pemberian penghargaan diberikan kepada industri yang melakukan pengolahan limbah dengan baik. Penghargaan yang diberikan dapat menjadi motivasi bagi perusahaan untuk berperan serta dalam pengendalian pencemaran sungai.

(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB V
PENUTUP

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

1. Hasil pemodelan parameter kualitas air setelah pembuangan limbah menunjukkan konsentrasi DO di sungai semakin menurun, konsentrasi BOD, COD, TSS, amonia, dan sulfida semakin meningkat, serta konsentrasi krom tidak mengalami perubahan. Hasil pemodelan juga menunjukkan pola distribusi yang berbeda pada saat pasang dan surut. Distribusi parameter tersebut adalah sebagai berikut:
 - a. Konsentrasi DO pada saat pasang memiliki konsentrasi yang lebih tinggi dengan rentang 1.16-9.10 mg/L dibandingkan dengan saat kondisi surut yaitu 2.15-8.97 mg/L.
 - b. Konsentrasi BOD pada saat pasang memiliki konsentrasi yang lebih tinggi dengan rentang 4.27-23.52 mg/L dibandingkan dengan saat surut dengan rentang 4.27-21.60 mg/L.
 - c. Konsentrasi COD pada saat pasang memiliki konsentrasi yang lebih rendah dengan rentang 22.12-45.52 mg/L dibandingkan dengan saat surut dengan rentang 23.27-56.08 mg/L.
 - d. Konsentrasi TSS pada saat pasang memiliki konsentrasi yang lebih tinggi dengan rentang 42.23-617.20 mg/L dibandingkan dengan saat surut antara 39.75-579.25 mg/L.
 - e. Amonia pada saat pasang memiliki konsentrasi yang lebih tinggi dengan rentang 0.082-26.844 mg/L dibandingkan dengan saat surut antara 0.367-24.881 mg/L.
 - f. Krom memiliki konsentrasi yang hampir sama saat pasang dan surut. Konsentrasi krom berkisar antara 0.023-0.036 mg/L pada saat pasang dan 0.023-0.037 mg/L saat surut.

- g. Konsentrasi sulfida pada saat pasang dan surut memiliki nilai yang hampir sama. Konsentrasi sulfida berkisar antara 0.0013-0.0118 mg/L pada saat pasang dan 0.0013-0.0113 mg/L saat surut.
2. Perbandingan antara hasil pemodelan kualitas air dengan standar baku mutu berdasarkan PP No. 82 Tahun 2001 dan KepmenLH No 51 Tahun 2004 menunjukkan parameter BOD dan amonia telah melebihi stardart baku mutu. Hasil pemodelan menunjukkan nilai BOD tertinggi 23.44 mg/L dan nilai Amonia tertinggi adalah 25.66 mg/L. Parameter DO, COD, TSS, krom, dan sulfida masih memenuhi standar baku mutu, tetapi pada beberapa waktu tertentu tidak memenuhi baku mutu. Rendahnya nilai DO, dan tingginya nilai COD, TSS, krom sulfida pada waktu tertentu disebabkan karena pembuangan limbah industri ke sungai.
3. Upaya yang dapat dilakukan dalam pengendalian pencemaran di Muara Welang antara lain melaksanakan pemantauan kualitas air secara rutin, meningkatkan pengelolaan limbah industri sebelum dibuang ke sungai, menetapkan daya tampung beban pencemaran sungai, meningkatkan pengawasan dan pemantauan pembuangan air limbah ke sungai serta penegakan sanksi hukum maupun penghargaan kepada industri.

5.2 Saran

1. Kegiatan pemantauan kualitas air di Muara Welang perlu dilakukan secara rutin dengan menambahkan jumlah stasiun pengamatan. Sehingga kondisi pencemaran di Muara Welang dapat diketahui sejak dini.
2. Perlu adanya pengelolaan limbah sebelum dibuang ke sungai, supaya kualitas air limbah memenuhi baku mutu yang disyaratkan sehingga dapat meminimalisir terjadinya pencemaran di muara.



DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Afshan, S., Ali, S., Ameen, U.S., et al. (2014). Effect of Different Heavy Metal Pollution on Fish. *Research Journal of Chemical and Environmental Sciences*, 2, 74–79.
- Agustiningsih, D. (2012). *Kajian Kualitas Air Sungai Blukar Kabupaten Kendal dalam Upaya Pengendalian Pencemaran Air Sungai*. Thesis. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Alaerts, G dan Santika, SS (1987). *Metoda Penelitian Air*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Arsyad, S. (2006). *Konservasi Tanah dan Air* (Cetakan ke). Bogor: Institut Pertanian Bogor Press.
- Asdak, C. (2010). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gajahmada University Press.
- Boman, B. J., Wilson, P. C., & Ontermma, E. A. (2012). *Understanding Water Quality Parameters for Citrus Irrigation and Drainage Systems 1 Obtaining a Water Sample*. 1–11.
- Brasington, J., & Richards, K. (2000). Turbidity and suspended sediment dynamics in small catchments in the Nepal Middle Hills. *Hydrological Processes*, 14(14), 2559–2574. [https://doi.org/10.1002/1099-1085\(20001015\)14:14<2559::AID-HYP114>3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/1099-1085(20001015)14:14<2559::AID-HYP114>3.0.CO;2-E)
- Budiharsono, S. (2005). *Teknik Analisis Pembangunan Wilayah Pesisir dan Lautan*. Jakarta: PT. Percetakan Penebar Swadaya.
- CERC. (1984). *Shore Protection Manual*. Washington: US Army Coastal Engineering Research Center.
- DHI. (2007). *WQ Templates – Scientific Description*. DHI. Denmark.
- Febrita, Joana., dan D. R. (2013). Uji Toksisitas Akut Effluent IPAL Industri Pelapisan Logam menggunakan *Daphnia magna* sebagai Evaluasi Kinerja IPAL. Institut Teknologi Bandung.
- Gopal, V., Shanmugasundaram, A., Nithya, B., Magesh, N. S., & Jayaprakash, M. (2018). Water quality of the Uppanar estuary, Southern India: Implications on the level of dissolved nutrients and trace elements. *Marine Pollution Bulletin*, 130(January), 279–286. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.03.046>
- Ji, Z.G. (2009). Review of Hydrodynamics and Water Quality: Modeling Rivers, Lakes, and Estuaries. In *Wiley Interscience, John Wiley & Sons, Inc.*, 111 (Vol. 14).
- Kay, R., Alder, J. (2005). *Coastal Planning and Management* (2nd Edition). Taylor & Francis, Oxon.

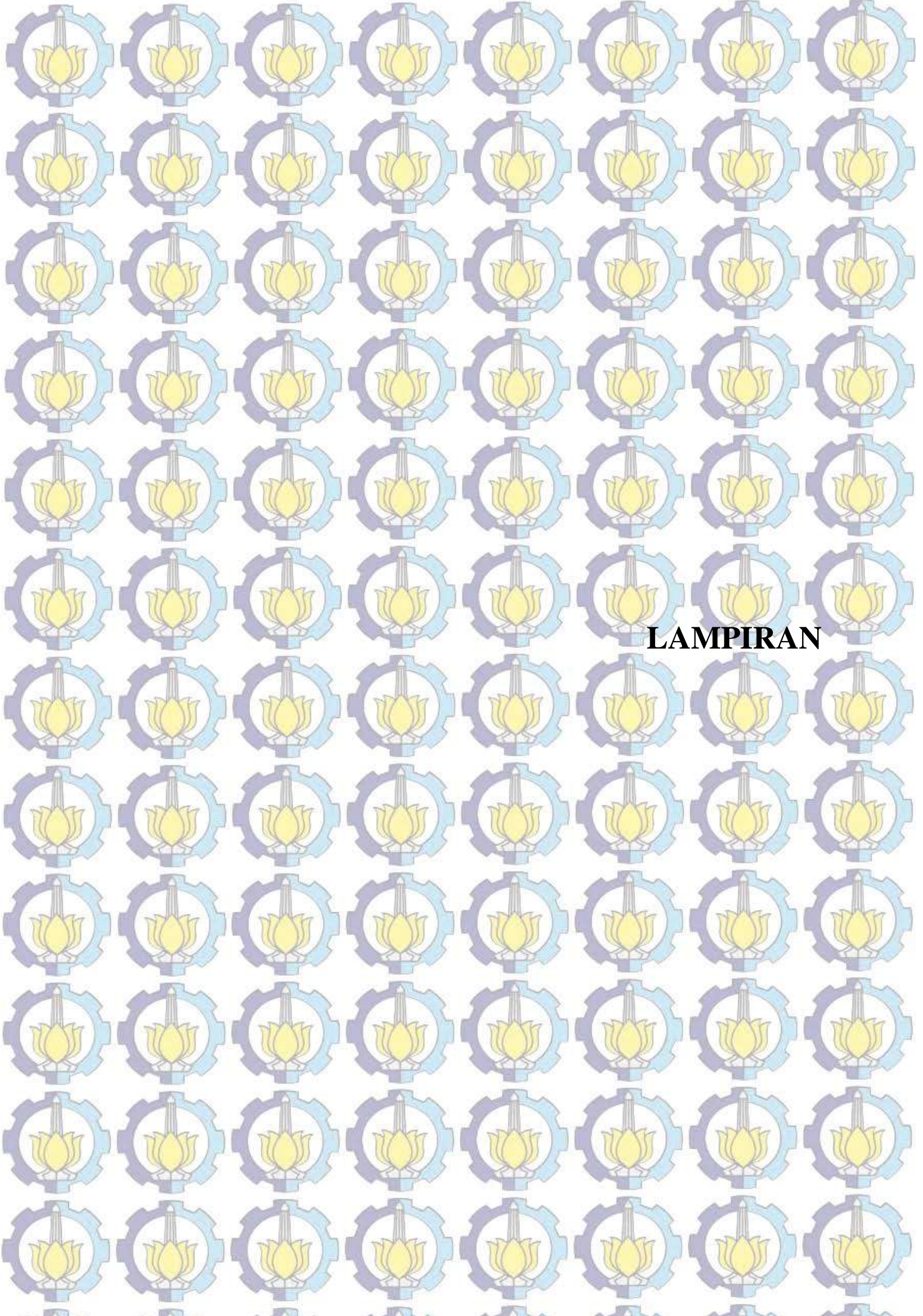
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut
- Lamb, J. C. (1985). *Water Quality and Its Control*. Canada: John Wiley&Sons, Inc.
- Mahida, U. N. (1984). *Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri*. Jakarta: Penerbit Rajawali.
- Maryono. (2005). *Menangani Banjir, Kekeringan dan Lingkungan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Meybeck, M. & Helmer, R. (1989). The quality of rivers: from pristine stage to global pollution. *Global and Planetary Change Section*, 75, 283–309.
- Miller, G. J. dan Connel, D. W. (1995). *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. Universitas Indonesia Press. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Mosley, L.M., Daly, R., Palmer, D., et al. (2015). Predictive modelling of pH and dissolved metal concentrations and speciation following mixing of acid drainage with river water. *Appl. Geochem*, 59, 1–10.
- Mudarisin. (2004). *Strategi Pengendalian Pencemaran Sungai (Studi Kasus Sungai Cipinang Jakarta Timur)*. Thesis. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Mukhtasor. (2007). *Pencemaran Pesisir dan Laut*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Mukono. (2008). *Prinsip Dasar Kesehatan Lingkungan*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Newman, M.C., Robberts, Jr.M.H., Hale, R. . (2002). *Coastal and Estuarine Risk Assessment*. Florida: CRC Press LLC.
- Nontji, A. (2007). *Laut Nusantara*. Jakarta: Djambatan.
- Odum, E.P.(1971). *Fundamental of Ecology*.W.B. Saunder Com. Philadelphia 125 pp.
- Pariwono, J. I. (1989). *Kondisi Pasang Surut di Indonesia. Kursus Pasang Surut*. Jakarta: P3O-LIPI.
- Park , K. , Kuo , A. Y. , Shen , J. , and Hamrick , J. M. 1995 . A Three – dimensional Hydrodynamic - Eutrophication Model (HEM3D): Description of Water Quality and Sediment Processes Submodels. The College of William and Mary, Virginia Institute of Marine Science. Special Report 327, 113 pp.
- Paul, D. (2017). Research on Heavy Metal Pollution of River Ganga: a Review. *Annals of Agricultural Sciences*, 15 (2), 278–286.
- Peraturan Pemerintah Nomor 38 Tahun 2011 tentang Sungai.
- Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pencemaran Air.
- Radojevic, M. dan, V. N. B. (2007). *Practical Environmental Analysis*. UK: RSC Publishing.
- Rajasekharan, V. V. (2015). *Apparatus, composition and method for determination of chemical oxidation demand*. US Patent.

- Siddiqi, S.Z., Chandrasekhar, S.V.A. (2010). Hydrobiology of raw water reservoir at Adra, Purulia District, West Bengal. *Rec. Zool. Surv. India* 110, 83–91.
- Suntoyo, Ikhwani, H., Zikra, M., Sukmasari, N. A., Angraeni, G., Tanaka, H., ... Kure, S. (2015). Modelling of the COD, TSS, Phosphate and Nitrate Distribution Due to the Sidoarjo Mud Flow into Porong River Estuary. *Procedia Earth and Planetary Science*, Vol. 14, pp. 144–151.
- Supriyadi dan S. Dedy. (2002). *Kondisi Perairan Muara Berdasarkan Parameter Fisika dan Kimia di Muara Begawan Solo Ujung Pangkal Kabupaten Gresik, Jawa Barat Timur*. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Suriawiria, U. (2003). *Air dalam Kehidupan dan Lingkungan yang Sehat*. Penerbit Alumni. Bandung: Penerbit Alumni.
- Sjafei, A. B. Ibrahim, dan A.C. Erungan. (2002). *Studi Mengenai Karakteristik dan Proses Pengolahan Limbah Cair Industri Hasil Perikanan*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Susila R Jaka ., Y. S. (2005). Pengaruh Kualitas Air Limbah Sentra Industri Penyamakan Kulit Sitimulyo terhadap Karakteristik Air Sungai. *Majalah Kulit, Karet, Dan Plastik Vol. 21 No 1*, 1–7.
- Triatmodjo. (1999). *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Udqodry TZ, Dietrieck GB, Richardus FK. (2010). Karakteristik Perairan Mangrove Tanjung Api-Api Sumatera Selatan berdasarkan Sebaran Parameter Lingkungan Perairan dengan Menggunakan Analisis Komponen Utama (PCA). *Maspari Journal 1 : 1 6- 21*
- Undang-Undang Nomor 23 Tahun 1997 Tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup
Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2007 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil.
- W. R. Ott. (1978). *Environmental Indices: Theory and Practice*. Michigan: Publishers Inc.
- Wardhana, W. A. (1995). *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Penerbit Andi Offset. Yogyakarta: Andi Offset.
- Wei, W.W.S., (2006), *Time Series Analysis: Univariate and Multivariate Methods - 2nd Edition*, Pearson Education, Inc., Boston.
- Whitehead, P., Bussi, G., Hossain, M. A., Dolk, M., Das, P., Comber, S., ... Hossain, S. (2018). Restoring water quality in the polluted Turag-Tongi-Balu river system, Dhaka: Modelling nutrient and total coliform intervention strategies. *Science of the Total Environment*, 631–632, 223–232.
- Wibisono, M. (2005). *Pengantar Ilmu Kelautan*. Jakarta: Gramedia Widiasarana Indonesia.
- Williams, J. (1979). *Introduction to Marine Pollution Control*. A Wiley-Interscience

Publication. New York. US.

Wiwoho. (2005). *Model Identifikasi Daya Tampung Beban Cemaran Sungai dengan QUAL2E – Study Kasus Sungai Babon*. Universitas Diponegoro. Semarang.

Yong, A. H. (1999). *Fish Species Diversity in Relation to Physico-Chemical Water Parameters in Estuaries and Coastal Zones of Kuching Bay, Sarawak*. Dissertation. University Malaysia Sarawak. Malaysia.



LAMPIRAN



LAMPIRAN 1A
KRITERIA BAKU MUTU AIR LIMBAH
PENYAMAKAN KULIT BERDASARKAN
KEPUTUSAN MENTERI LINGKUNGAN
HIDUP NOMER KEP 51-/MENLH/10/1995

LAMPIRAN

Lampiran 1A

Kriteria Baku Mutu Air Limbah Penyamakan Kulit Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomer KEP 51-/MENLH/10/1995

LAMPIRAN B.III : KEPUTUSAN MENTERI NEGARA LINGKUNGAN HIDUP
NOMOR : KEP 51-/MENLH/10/1995
TENTANG : BAKU MUTU LIMBAH CAIR BAGI KEGIATAN INDUSTRI
TANGGAL : 23 OKTOBER 1995

BAKU MUTU LIMBAH CAIR UNTUK INDUSTRI PENYAMAKAN KULIT

PARAMETER	Proses Penyamakan Menggunakan Krom		Proses Penyamakan Menggunakan Daun-daunan	
	KADAR MAKSIMUM (mg/L)	BEBAN PENCEMARAN MAKSIMUM (kg/ton)	KADAR MAKSIMUM (mg/L produk)	BEBAN PENCEMARAN MAKSIMUM (kg/ton)
BOD ₅	50	2.0	70	2.8
COD	110	4.4	180	7.2
TSS	60	2.4	50	2.0
Krom Total (Cr)	0.60	0.024	0.1	0.004
Minyak dan Lemak	5.0	0.20	5.0	0.20
N Total (sebagai N)	10	0.40	15	0.60
Amoniak Total (sebagai N)	0.5	0.02	0.50	0.02
Sulfida (sebagai S)	0.8	0.032	0.50	0.02
pH	6,0 - 9,0		6,0 - 9,0	
Debit Limbah Maksimum	40 m ³ / ton bahan baku		40 m ³ / ton bahan baku	

Catatan :

1. Kadar maksimum untuk setiap parameter pada tabel di atas dinyatakan dalam miligram meter per Liter air limbah.
2. Beban pencemaran maksimum pada tabel diatas dinyatakan dalam kg per ton bahan baku (penggaraman kulit mentah)
3. N Total jumlah N organik + Amonia Total + NO₃ + NO₂

(halaman ini sengaja dikosongkan)



LAMPIRAN 1B
KRITERIA BAKU MUTU AIR SUNGAI
BERDASARKAN PERATURAN
PEMERINTAH NOMER 82 TAHUN 2001

Lampiran 1B

Kriteria Baku Mutu Air Sungai Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomer 82 Tahun 2001

LAMPIRAN

PERATURAN PEMERINTAH

NOMOR 82 TAHUN 2001

TANGGAL 14 DESEMBER 2001

TENTANG

PENGELOLAAN KUALITAS AIR DAN PENGENDALIAN PENCEMARAN AIR

Kriteria Mutu Air Berdasarkan Kelas.

PARAMETER	SATUAN	KELAS				KETERANGAN
		I	II	III	IV	
FISIKA						
Tempelatur	°C	deviasi 3	deviasi 3	deviasi 3	deviasi 5	Deviasi temperatur dari keadaan alaminya
Residu Terlarut	mg/ L	1000	1000	1000	2000	

Residu Tersuspensi	mg/L	50	50	400	400	Bagi pengolahan air minum secara konvesional, residu tersuspensi ≤ 5000 mg/ L
KIMIA ANORGANIK						
pH		6-9	6-9	6-9	5-9	Apabila secara alamiah di luar rentang tersebut, maka ditentukan berdasarkan kondisi alamiah
BOD	mg/L	2	3	6	12	
COD	mg/L	10	25	50	100	
DO	mg/L	6	4	3	0	Angka batas minimum
Total Fosfat sbg P	mg/L	0,2	0,2	1	5	
NO 3 sebagai N	mg/L	10	10	20	20	
NH3-N	mg/L	0,5	(-)	(-)	(-)	Bagi perikanan, kandungan amonia bebas untuk ikan yang peka ≤ 0,02 mg/L sebagai NH3
Arsen	mg/L	0,05	1	1	1	
Kobalt	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	
Barium	mg/L	1	(-)	(-)	(-)	
Boron	mg/L	1	1	1	1	

Selenium	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	
Kadmium	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	
Khrom (VI)	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,01	
Tembaga	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,2	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Cu ≤ 1 mg/L
Besi	mg/L	0,3	(-)	(-)	(-)	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Fe ≤ 5 mg/L
Timbal	mg/L	0,03	0,03	0,03	1	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Pb ≤ 0,1 mg/L
Mangan	mg/L	0,1	(-)	(-)	(-)	
Air Raksa	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,005	
Seng	mg/L	0,05	0,05	0,05	2	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Zn ≤ 5 mg/L
Khlorida	mg/l	600	(-)	(-)	(-)	
Sianida	mg/L	0,02	0,02	0,02	(-)	
Fluorida	mg/L	0,5	1,5	1,5	(-)	

Nitrit sebagai N	mg/L	0,06	0,06	0,06	(-)	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, NO ₂ _N ≤ 1 mg/L
Sulfat	mg/L	400	(-)	(-)	(-)	
Klorin bebas	mg/L	0,03	0,03	0,03	(-)	Bagi ABAM tidak dipersyaratkan
Belereang sebagai H ₂ S	mg/L	0,002	0,002	0,002	(-)	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, S sebagai H ₂ S <0,1 mg/L
MIKROBIOLOGI						
Fecal coliform	jml/100 ml	100	1000	2000	2000	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, fecal coliform ≤ 2000 jml / 100 ml dan total coliform ≤ 10000 jml/100 ml
-Total coliform	jml/100 ml	1000	5000	10000	10000	
-RADIOAKTIVITAS						
- Gross-A	Bq /L	0,1	0,1	0,1	0,1	
- Gross-B	Bq /L	1	1	1	1	
KIMIA ORGANIK						
Minyak dan Lemak	ug /L	1000	1000	1000	(-)	
Detergen sebagai MBAS	ug /L	200	200	200	(-)	

Senyawa Fenol	ug /L	1	1	1	(-)	
sebagai Fenol						
BHC	ug /L	210	210	210	(-)	
Aldrin / Dieldrin	ug /L	17	(-)	(-)	(-)	
Chlordane	ug /L	3	(-)	(-)	(-)	
DDT	ug /L	2	2	2	2	
Heptachlor dan heptachlor epoxide	ug /L	18	(-)	(-)	(-)	
Lindane	ug /L	56	(-)	(-)	(-)	
Methoxyclor	ug /L	35	(-)	(-)	(-)	
Endrin	ug /L	1	4	4	(-)	
Toxaphan	ug /L	5	(-)	(-)	(-)	

Keterangan :

mg= miligram

ug= mikrogram

ml= militer

L= liter

Bq= Bequerel

MBAS = Methylene Blue Active Substance

ABAM= Air Baku untuk Air Minum

Logam berat merupakan logam terlarut

Nilai di atas merupakan batas maksimum, kecuali untuk pH dan DO.

(halaman ini sengaja dikosongkan)



LAMPIRAN 2
DOKUMENTASI PENELITIAN

Lampiran 2

Dokumentasi Penelitian



Gambar 1. Pengamatan Pasang Surut untuk Pengukuran Batimetri



Gambar 2. Pengukuran Batimetri



Gambar 3. Pengambilan Sampel Air



Gambar 4. Sebagian Sampel Air yang Diambil dari Sungai Welang



Gambar 5. Pengukuran Konsentrasi DO di Lapangan



Gambar 6. Pengukuran Arus

(halaman ini sengaja dikosongkan)



LAMPIRAN 3
SURAT IJIN PENGGUNAAN LISENSI
MIKE OLEH BALITBANG KP – KKP

Lampiran 3

Surat Ijin Penggunaan Lisensi MIKE oleh Balitbang KP – KKP

Rudy



**KEMENTERIAN KELAUTAN DAN PERIKANAN
BADAN RISET DAN SUMBER DAYA MANUSIA
KELAUTAN DAN PERIKANAN**

KOMPLEKS BINA SAMUDERA JALAN PASIR PUTIH 1 ANCOL TIMUR LANTAI IV JAKARTA 14430
TELEPON : (021) 64700755 EXT. 3120 FAKSIMILE: (021) 64711654
LAMAM : www.kkp.go.id SURAT ELEKTRONIK : pusriskel@kkp.go.id

Jakarta, 12 November 2019

Nomor : 2019/BRSDM.2/TU.210/XI/2019
Hal : Permohonan Ijin Penggunaan *Software MIKE 21/3 HD* Untuk Tugas Akhir dan Tesis

Yth. Kepala Departemen Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Di Surabaya

Bedasarkan surat Kepala Departemen Teknik Kelautan Nomor : 87127/IT2.VI.6.3/PP.05.02/2019 tanggal 22 Oktober 2019 perihal Permohonan Ijin penggunaan *Software* untuk Tugas Akhir, bersama ini dapat disampaikan bahwa pada prinsipnya kami menyetujui pelaksanaan pengolahan data terbatas dengan menggunakan *Software MIKE 21/3* Hidrodinamic (HD) milik Ministry of Marine Affairs and Fisheries, Agency for Marine and Fisheries Research and Development, Jln. Pasir Putih 1 Jakarta Utara Indonesia untuk keperluan Tugas Akhir (Mahasiswa S1) dan Tesis (Mahasiswa S2) atas nama sebagai berikut :

No	Nama	NRP	Judul Tugas Akhir
1.	Muhammad Arrozikul R.S.	0431154000070	Analisa Dampak Pembangunan Jetty Terhadap Laju Sedimentasi dan Pola Arus di Kawasan Open Crude Access PT. Pertamina RU III Plaju.
2.	Rendatiyarso Laksono	0431164000018	Analisa Pola Arus Dan Laju Sedimentasi Di Dermaga C Pt. Petrokimia Gresik Dengan Menggunakan <i>Software Mike 21</i>
3.	Muhammad Ilham Maulana	0431164000039	Studi Laju Sedimentasi PLTU Pulang Pisau Akibat Modifikasi Jetty Dalam Upaya Peningkatan Kapasitas Produksi.

4.	Muhammad Yasyril Mumtaz	04311640000131	Estimasi Potensi Energi Di Pantai Selatan Banyuwangi.
5.	Ilham Cahya	04311850010005	Pemodelan Banjir dan Sedimentasi di Muara Sungai Welang Pasuruan.
6.	Imayatul Lailiyah	04311850010007	Pemodelan Dinamika Estuari Sungai Welang Pasuruan.
7.	Indriika Widyastuti	04311850010010	Pemodelan Kualitas Air dan Upaya Pengendalian Pencemaran di Muara Welang Pasuruan.
8.	Abiyani Choirul Huda	04311850012001	Valuation Economic of Reclamation in Teluk Lamong.

Adapun waktu pelaksanaan pengolahan data sebagaimana dimaksud diatas berlaku sejak dikeluarkan surat ini hingga selesainya masa studi yang tersebut di atas. Untuk mendukung kelancaran selama publikasi paper/ jurnal dimohon untuk mencantumkan nama personal dari instansi Pusat Riset Kelautan, Badan Riset Sumber Manusia, Kementerian Kelautan dan Perikanan.

Demikian disampaikan dan atas perhatian dan kerjasamanya diucapkan terimakasih.



Tembusan :

- Sekretaris BRSDM KP



LAMPIRAN 4
SALAH SATU LEMBAR HASIL
PENGUJIAN KUALITAS AIR DI MUARA
WELANG

Lampiran 4

Salah Satu Lembar Hasil Pengujian Kualitas Air di Muara Welang



LABORATORIUM TAKI
(Teknologi Air dan Konsultasi Industri)
Departemen Teknik Kimia FTI - ITS

Kampus ITS, Keputih - Sukolilo, Surabaya, Telp. 031-5922935
Fax. 031-5922935, E-mail : lab.taki@chem-eng.its.ac.id

KETERANGAN HASIL ANALISA

No. 23/LTAKI/XII/2019

Terima dari : **Indri**
Teknik Kelautan ITS
Jenis contoh : Air Sungai Limbah Industri
Kode contoh : 22
Uji : COD, BOD, TSS, Detergent, PO₄, pH
Diterima tanggal : 29 November 2019

Parameter	Satuan	Hasil analisa	Metode analisa
COD	mg/L O ₂	54	Refluks
BOD	mg/L O ₂	28	Winkler
Sulfida	mg/L	0,016	Titrimetri
Ammoniak (NH ₃)	mg/L	38,78	Spektrofotometri
Chrom total (Cr)	mg/L	0,027	AAS
Dissolved oksigen (DO)	mg/L	0,0	Dometri
TSS	mg/L	879	Gravimetri

Keterangan :
Hasil analisa tersebut diatas berdasarkan contoh yang kami terima

Surabaya, 10 Desember 2019



Siti Nurkhamidah, ST.MS.Ph.D
Kepala Laboratorium TAKI

(halaman ini sengaja dikosongkan)



LAMPIRAN 5
KONSENTRASI PARAMETER KUALITAS
AIR HASIL PENGUKURAN LANGSUNG DI
LAPANGAN

Lampiran 5

Konsentrasi Parameter Kualitas Air Hasil Pengukuran Langsung di Lapangan

Hasil Pengukuran Sebelum Pembuangan Limbah Industri pada 10 November 2019										
Stasiun	Koordinat		Waktu (WIB)	Konsentrasi Parameter (mg/L)						
	Lintang	Bujur		DO	BOD	COD	TSS	Amonia	Krom	Sulfida
1	-7.6281	112.8711	9.09	3.9	12	24	38	0.5	0.023	0.0029
2	-7.5822	112.8701	10.13	3.8	10	21	92	1.38	0.031	0.0016
3	-7.5805	112.8799	10.44	4.2	8	16	189	0.93	0.015	0.0027
4	-7.5816	112.8936	11.25	3.6	12	25	200	0.67	0.027	0.0016
Hasil Pengukuran Setelah Pembuangan Limbah Industri pada 14 November 2019										
1	-7.6291	112.8748	20.00	0	28	54	879	38.78	0.027	0.016

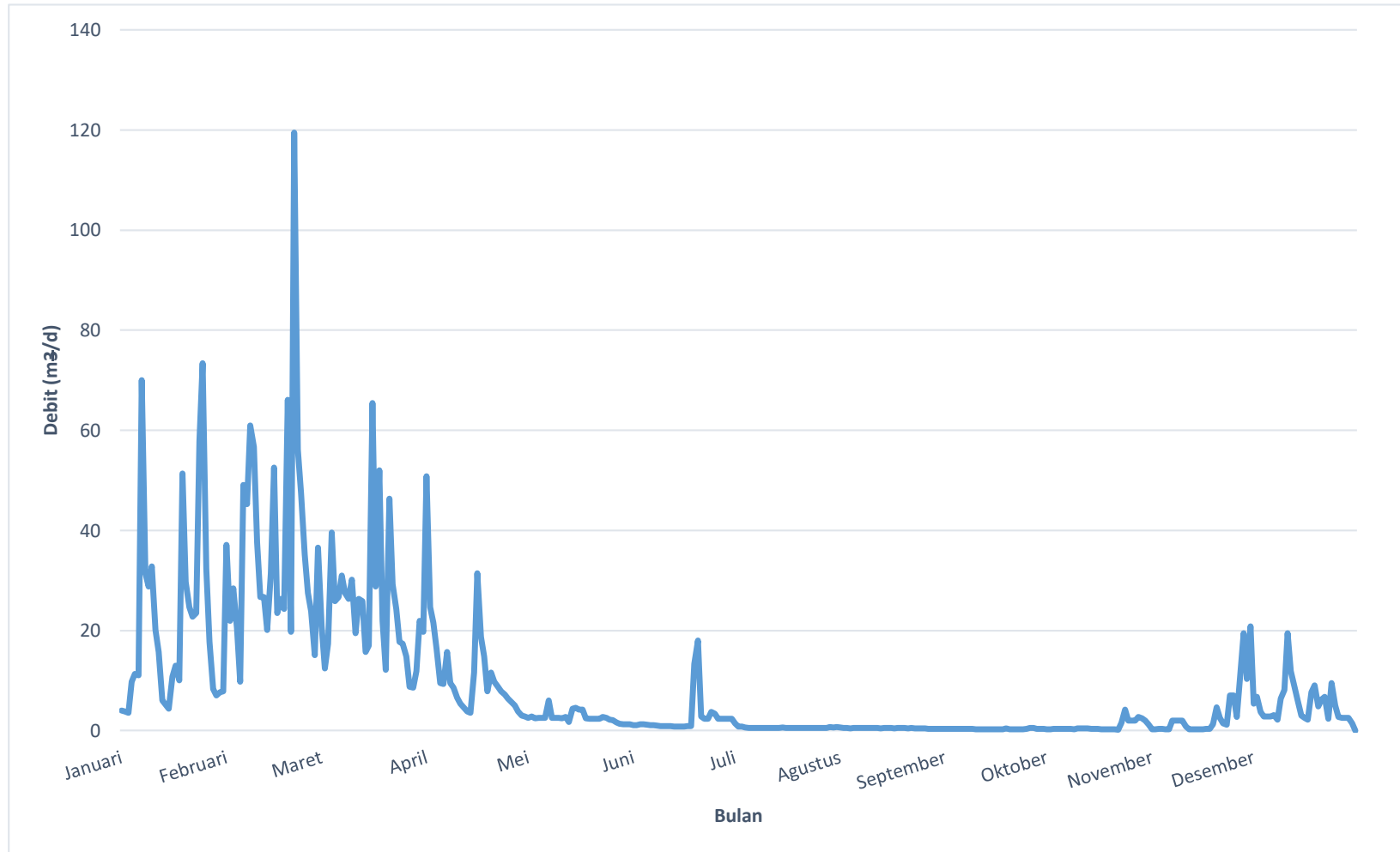
(halaman ini sengaja dikosongkan)



LAMPIRAN 6
DEBIT SUNGAI WELANG TAHUN 2018

Lampiran 6

Debit Sungai Welang Tahun 2018



(halaman ini sengaja dikosongkan)



BIODATA PENULIS

BIODATA PENULIS



Indri Ika Widyastuti dilahirkan di Surabaya, Jawa Timur pada 25 Agustus 1994. Putri pertama dari empat bersaudara pasangan Indrat Triyono dan Tituk Sukaning. Pendidikan formal yang pernah ditempuh SD Hang Tuah 12 Surabaya, SMP Negeri 7 Surabaya, dan SMA Hang Tuah 1 Surabaya. Pendidikan sarjana pada Program Studi Oseanografi, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Universitas Hang Tuah Surabaya tahun 2012. Tahun 2018 penulis melanjutkan pendidikan Magister di pada Program Studi Pascasarjana Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Karya ilmiah penulis yang berjudul *Modelling Water Quality in Welang River Estuary, Pasuruan* telah diseminarkan pada *The 7th International Seminar on Ocean and Coastal Engineering, Environmental and Natural Disaster Management (ISOCEEN)* tahun 2019. Karya tulis ilmiah tersebut merupakan bagian dari tesis penulis. Penulis juga aktif mengikuti berbagai macam pelatihan dan seminar dalam rangka pengembangan diri.