

**PENGARUH KEGIATAN INDUSTRI
TERHADAP KUALITAS AIR SUNGAI DIWAK
DI BERGAS KABUPATEN SEMARANG
DAN UPAYA PENGENDALIAN PENCEMARAN AIR SUNGAI**



**Tesis
Untuk memenuhi sebagian persyaratan
Mencapai derajat Sarjana S-2 pada
Program Studi Ilmu Lingkungan**

**Deazy Rahmawati
21080110400004**

**PROGRAM MAGISTER ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2011**

TESIS

**PENGARUH AKTIVITAS INDUSTRI
TERHADAP KUALITAS AIR SUNGAI DIWAK
DI BERGAS KABUPATEN SEMARANG
DAN UPAYA PENGENDALIAN PENCEMARAN AIR SUNGAI**

Disusun oleh :

Deazy Rahmawati
21080110400004

Mengetahui,
Komisi Pembimbing

Pembimbing Utama

Pembimbing Kedua

Dr. Ir. Setia Budi Sasongko, DEA

Wiharyanto Oktiawan, ST, MT

Ketua Program
Magister Ilmu Lingkungan
Universitas Diponegoro

Prof. Dr. Ir. Purwanto, DEA

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH AKTIVITAS INDUSTRI
TERHADAP KUALITAS AIR SUNGAI DIWAK
DI BERGAS KABUPATEN SEMARANG
DAN UPAYA PENGENDALIAN PENCEMARAN AIR SUNGAI**

Disusun oleh :

Deazy Rahmawati
21080110400004

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
Pada tanggal 21 September 2011
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

Ketua :

Dr. Ir. Setia Budi Sasongko, DEA

Anggota :

1. Wiharyanto Oktiawan, ST, MT

2. Prof. Dr. Ir. Purwanto, DEA

3. Ir. Sumarno, M.Si

PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis yang saya susun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Magister dari Program Magister Ilmu Lingkungan seluruhnya merupakan karya saya sendiri.

Adapun bagian – bagian tertentu dalam penulisan Tesis yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian tesis ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiat dalam bagian – bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya sandang dan sanksi –sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku.

Semarang, September 2011

Deazy Rahmawati

RIWAYAT HIDUP



Deazy Rahmawati. Menamatkan pendidikan sekolah dasar di SDN Cakra Madya Dwipa II Semarang tahun 1991, sekolah menengah pertama di SMPN 21 Semarang tahun 1994 dan SMU 3 Semarang tahun 1997. Jenjang pendidikan S1 pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Kimia Universitas Diponegoro diselesaikan tahun 2002.

Saat ini penulis bekerja sebagai Pegawai Negeri Sipil (PNS) di Badan Lingkungan Hidup Kabupaten Semarang. Pada tahun 2010 penulis mendapatkan kesempatan untuk melanjutkan pendidikan jenjang S2 pada Program Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro dengan bidang konsentrasi Perencanaan Lingkungan melalui Program Beasiswa S2 Dalam Negeri 13 Bulan dari Pusat Pembinaan dan Pendidikan Pelatihan Perencana (Pusbindiklatren) Bappenas RI.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena limpahan karunia-Nya sehingga tesis berjudul “*Pengaruh Kegiatan Industri terhadap Kualitas Air Sungai Diwak di Bergas Kabupaten Semarang dan Upaya Pengendalian pencemaran Air*” dapat terselesaikan.

Dalam menempuh studi hingga penulisan tesis ini, penulis banyak memperoleh bantuan dan dukungan moril dari berbagai pihak. Oleh karenanya penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang kepada :

1. Dr. Ir. Setia Budi Sasongko, DEA, dan Wiharyanto Oktiawan, ST, MT, selaku Pembimbing Utama dan Pembimbing Kedua, atas arahan dan bimbingannya dalam penyusunan tesis ini.
2. Prof. Dr. Ir. Purwanto, DEA dan Ir. Sumarno, M.Si selaku penguji I dan II atas saran dan masukannya agar isi tesis ini menjadi lebih baik.
3. Prof. Dr. Ir. Purwanto, DEA, dan Drs. Hartuti Purnaweni, MPA., selaku Ketua dan Sekretaris Program Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro.
4. Pusbindiklatren - Bappenas RI yang telah memberikan beasiswa untuk melanjutkan pendidikan Program S-2 Dalam Negeri 13 bulan.
5. Pemerintah Daerah Kabupaten Semarang dan Badan Lingkungan Hidup Kabupaten Semarang yang telah memberikan ijin dan dukungan kepada penulis untuk melanjutkan pendidikan S2 dan melakukan penelitian.
6. Teman-teman Bappenas *Batch 5* (MIL Undip Angkatan 27) yang telah berbagi pemikiran, kebersamaan dan semangat untuk menyelesaikan kuliah dan tesis ini.
7. Seluruh staf administrasi MIL Undip atas segala bantuannya.
8. Keluarga tercinta yang senantiasa memberikan dukungan dan doa.
9. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tesis ini.

Penulis menyadari bahwa penyusunan tesis ini masih jauh dari sempurna. Oleh karenanya penulis sangat mengharapkan adanya kritik maupun saran bersifat positif dari berbagai pihak. Semoga tesis ini dapat memberi manfaat dan masukan bagi upaya pengendalian pencemaran air sungai khususnya pada daerah industri.

Semarang, September 2011

Penulis

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|----------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PENGESAHAN | ii |
| HALAMAN PERNYATAAN | iv |
| RIWAYAT HIDUP | v |
| KATA PENGANTAR | vi |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR TABEL | x |
| DARTAR GAMBAR | xii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xiii |
| ABSTRAK | xiv |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 4 |
| 1.4 Manfaat Penelitian | 4 |
| 1.5 Orisinalitas Penelitian | 4 |
| | |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 9 |
| 2.1 Gambaran Umum Kecamatan Bergas | 9 |
| 2.1.1 Letak Geografis dan Administratif | 9 |
| 2.1.2 Klimatologis | 10 |
| 2.2 Industri | 11 |
| 2.2.1 Pengertian Industri | 11 |
| 2.2.2 Klasifikasi Industri | 12 |

| | | |
|----------------|---|-----------|
| 2.2.3 | Faktor Pendukung Industri | 13 |
| 2.2.4 | Dampak Pembangunan Industri | 13 |
| 2.2.3 | Industri di Wilayah Kecamatan Bergas | 14 |
| 2.3 | Sungai | 12 |
| 2.3.1 | Definisi dan Klasifikasi Sungai | 15 |
| 2.3.2 | Sungai Diwak | 16 |
| 2.4 | Pencemaran Air | 17 |
| 2.4.1 | Definisi dan Sumber Pencemaran Air | 17 |
| 2.4.2 | Indikator Pencemaran Air | 18 |
| 2.4.3 | Komponen Pencemaran Air | 21 |
| 2.4.4 | Komposisi Air Limbah | 22 |
| 2.4.5 | Air Limbah Industri | 22 |
| 2.4.6 | <i>Self Purification</i> | 24 |
| 2.5 | Pengendalian Pencemaran Air | 25 |
| 2.5.1 | Baku Mutu Air | 25 |
| 2.5.2 | Daya Tampung Beban Pencemaran | 27 |
| 2.5.3 | Status Mutu Air Metode Indeks Pencemaran | 30 |
| 2.5.4 | Peraturan Perundangan tentang Pencemaran Air | 32 |
| 2.6 | Analisis SWOT | 32 |
| 2.7 | Kerangka Berpikir | 33 |
| BAB III | METODE PENELITIAN | 36 |
| 3.1 | Metode Pendekatan Penelitian | 36 |
| 3.2 | Ruang Lingkup Penelitian | 36 |
| 3.3 | Lokasi dan Waktu Penelitian | 37 |
| 3.3.1 | Lokasi Penelitian | 37 |
| 3.3.2 | Waktu Penelitian | 37 |
| 3.4 | Bahan dan Alat | 37 |
| 3.5 | Jenis dan Sumber Data | 37 |
| 3.6 | Teknik Pengumpulan Data | 38 |
| 3.7 | Penentuan Titik Pengambilan Sampel Kualitas Air | 39 |

| | | |
|---------------|---|-----------|
| 3.8 | Parameter yang Diukur | 40 |
| 3.9 | Teknik Analisis Data | 41 |
| BAB IV | HASIL DAN PEMBAHASAN | 47 |
| 4.1 | Air Limbah Industri | 48 |
| 4.2 | Kualitas Air Sungai Diwak | 53 |
| 4.2.1 | Parameter Fisika | 58 |
| 4.2.1.1 | Temperatur Air Sungai Diwak | 58 |
| 4.2.1.2 | <i>Total Suspended Solid (TSS)</i> | 59 |
| 4.2.2 | Parameter Kimia | 60 |
| 4.2.2.1 | Derajat Keasaman (pH) | 60 |
| 4.2.2.2 | <i>Biochemical Oxygen Demand (BOD)</i> .. | 61 |
| 4.2.2.3 | <i>Chemical Oxygen Demand (COD)</i> | 62 |
| 4.2.2.4 | Oksigen Terlarut (DO) | 63 |
| 4.2.3 | Perkiraan Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Diwak | 66 |
| 4.2.3.1 | Metode Neraca Massa | 66 |
| 4.2.3.2 | Metode Streeter-Phelps | 68 |
| 4.2.4 | Status Mutu Air Sungai dengan Metode Indeks Pencemaran | 70 |
| 4.3 | Pengendalian Pencemaran Air Sungai Diwak..... | 74 |
| BAB V | KESIMPULAN DAN SARAN | 84 |
| 5.1 | Kesimpulan | 84 |
| 5.2. | Saran | 85 |
| | DAFTAR PUSTAKA | 86 |
| | LAMPIRAN | 89 |

DAFTAR TABEL

| No | Judul Tabel | Halaman |
|-----|---|---------|
| 1. | Data Kasus Pencemaran Air Sungai Diwak | 3 |
| 2. | Penelitian Sebelumnya | 6 |
| 3. | Nama dan Luas Desa/Kelurahan di Kecamatan Bergas Tahun 2010 | 10 |
| 4. | Curah Hujan Bulanan dan Hari Hujan di Kecamatan Bergas | 11 |
| 5. | Jenis Industri di Kecamatan Bergas | 15 |
| 6. | Jumlah Penduduk di Kecamatan Bergas Tahun 2009 | 16 |
| 7. | Luas Penggunaan Lahan di Kecamatan Bergas Tahun 2009 | 17 |
| 8. | Indek Pencemaran | 31 |
| 9. | Peraturan Perundang –Undangan Pengendalian Pencemaran Air | 32 |
| 10. | Perbedaan Curah Hujan Bulan Mei dan Juli di Kecamatan Bergas | 37 |
| 11. | Kebutuhan Data | 38 |
| 12. | Perlakuan Terhadap Sampel | 41 |
| 13. | Parameter Kualitas Air dan Metode Analisis | 41 |
| 14. | Jenis Industri pada Lingkup Penelitian | 49 |
| 15. | Hasil Analisa Kualitas Air Limbah Industri A | 49 |
| 16. | Hasil Analisa Kualitas Air Limbah Industri B | 49 |
| 17. | Hasil Analisa Kualitas Air Limbah Industri C | 50 |
| 18. | Konsentrasi dan Beban Pencemaran di Sungai Diwak | 51 |
| 19. | Hasil Analisa Kualitas Air di Sungai Diwak (Mei 2011) | 54 |
| 20. | Hasil Analisa Kualitas Air di Sungai Diwak (Juli 2011) | 54 |
| 21. | Kriteria Mutu Air Sungai Berdasarkan Kelas | 55 |
| 22. | Perbedaan Debit Air di Sungai Diwak (Mei & Juli 2011) | 55 |
| 23. | Perbedaan Kualitas Air Sungai Diwak pada ST1 dan ST4..... | 57 |

| | |
|--|----|
| 24. Perhitungan Neraca Massa Bulan Mei 2011..... | 66 |
| 25. Perhitungan Neraca Massa Bulan Juli 2011..... | 67 |
| 26. Analisis Daya Tampung dan Daya Pulih Bulan Mei & Juli 2011 | 69 |
| 27. Status Mutu Air Sungai Diwak Kriteria Air Sungai Kelas II | 71 |
| 28. Status Mutu Air Sungai Diwak Kriteria Air Sungai Kelas I, III dan IV | 73 |
| 29. Analisis Upaya Pengendalian Pencemaran Air Sungai Diwak..... | 74 |
| 30. Analisis SWOT Berdasarkan Penilaian Masing – masing Indikator Pengendalian Pencemaran Air | 76 |
| 31. Matriks SWOT Pengendalian Pencemaran Air Sungai Diwak... | 78 |
| 32. Frekuensi Pelaporan Pelaksanaan Pengelolaan Lingkungan oleh Industri Tahun 2010..... | 82 |

DAFTAR GAMBAR

| No. | Judul Gambar | Halaman |
|-----|--|---------|
| 1. | Peta Wilayah Kecamatan Bergas Kabupaten Semarang | 9 |
| 2. | Diagram Dampak Pembangunan Industri | 14 |
| 3. | Skema Pengelompokkan Bahan yang terkandung dalam air Limbah | 22 |
| 4. | Kurva Karakteristik <i>Oxygen Sag</i> Berdasarkan Persamaan Streeter-Phleps | 29 |
| 5. | Diagram Analisis SWOT | 33 |
| 6. | Kerangka Pikir | 35 |
| 7. | Skema Gambar <i>Point Source</i> Sungai Diwak | 40 |
| 8. | Lokasi Penelitian di Sungai Diwak | 48 |
| 9. | Beban Pencemaran oleh Indsutri di Sungai Diwak | 52 |
| 10. | Pemanfaatan Air Sungai Diwak untuk Pertanian | 53 |
| 11. | Temperatur Air Sungai Diwak | 58 |
| 12. | Konsentrasi TSS di Sungai Diwak | 59 |
| 13. | Konsentrasi pH di Sungai Diwak | 61 |
| 14. | Konsentrasi BOD di Sungai Diwak | 61 |
| 15. | Konsentrasi COD di Sungai Diwak | 63 |
| 16. | Konsentrasi DO di Sungai Diwak | 64 |
| 17. | Indeks Pencemaran Sungai Diwak Kriteria Air Kelas II | 69 |

DAFTAR LAMPIRAN

| No. | Judul Lampiran | Halaman |
|-----|--|---------|
| 1. | Kriteria Mutu Air Berdasarkan Kelas (PP 82 Tahun 2001)..... | 89 |
| 2. | Baku Mutu Air Limbah Industri (Perda Provinsi Jawa Tengah No 10 Tahun 2004) | 91 |
| 3. | Perhitungan Beban Cemar Air Limbah Industri..... | 92 |
| 4. | Perhitungan Neraca Massa..... | 94 |
| 5. | Perhitungan Daya Tampung dan Daya Pulih Beban Cemar Metode <i>Streeter-Phelps</i> | 96 |
| 6. | Perhitungan Indeks Pencemaran (P_{ij}) | 100 |
| 7. | Rangkuman Hasil Wawancara | 104 |
| 8. | Klasifikasi dan Bobot Nilai Pada Indikator SWOT..... | 106 |
| 9. | Hasil Analisa Laboratorium | 108 |

ABSTRAK

Sungai menjadi salah satu sumber daya alam yang rentan terhadap pencemaran. Limbah cair dari kegiatan industri berpotensi menjadi sumber pencemar yang mengurangi kualitas air dan daya tampung sungai. Sungai Diwak merupakan sungai di Kecamatan Bergas, Kabupaten Semarang yang menjadi badan penerima air limbah beberapa industri. Hal ini menyebabkan munculnya permasalahan dengan masyarakat akibat dugaan pencemaran oleh air limbah industri.

Penelitian ini bertujuan menganalisis kualitas air Sungai Diwak pada segmen industri sebagai akibat adanya pengaruh beban pencemaran oleh air limbah industri dengan indikator BOD, COD, TSS, DO, suhu dan pH serta memberikan rekomendasi upaya pengendalian pencemaran air sungai dengan analisis SWOT. Lokasi pengambilan sampel air sungai dilakukan pada segmen industri mulai Kedungwuni hingga Jembatan Diwak dan dibagi menjadi 4 stasiun (ST1, ST2, ST3 dan ST4) dengan sampel air limbah dari 3 industri A, B,C (OT1, OT2 dan OT3). Pengambilan sampel air sungai dilakukan pada Bulan Mei 2011 (musim penghujan) dan Bulan Juli 2011 (musim kemarau).

Dari hasil analisa air limbah diketahui bahwa ketiga industri tersebut memberikan potensi beban pencemaran (BPAj) pada Sungai Diwak berupa nilai BOD, COD dan TSS. Adanya beban pencemaran ini menyebabkan kualitas air Sungai Diwak musim penghujan dan kemarau tidak memenuhi kriteria Air Kelas II, yaitu kriteria mutu air bagi sungai yang belum ditentukan kelasnya sesuai Peraturan Pemerintah No.82 Tahun 2001, dikarenakan nilai BOD yang melebihi baku mutu. Dari perhitungan daya pulih dengan Metode *Streeter-Phelps* diketahui bahwa BOD air sungai pada musim penghujan belum melebihi BOD maksimum dari daya tampung Sungai Diwak, namun hal yang sebaliknya terjadi pada musim kemarau. Indeks Pencemaran air pada masing – masing stasiun menunjukkan Status Mutu air Sungai Diwak tergolong tercemar ringan hingga sedang. Strategi Pengendalian Pencemaran air Sungai Diwak yang diberikan yaitu : kajian penetapan kelas air dan daya tampung Sungai Diwak sesuai peruntukannya, peningkatan frekuensi kegiatan pengawasan dan pemantauan kegiatan industri, penambahan jumlah titik pantau dan frekuensi pemantauan kualitas air Sungai Diwak, serta penegakan hukum maupun *rewards* kepada industri dalam pengelolaan lingkungan.

Kata kunci : beban pencemaran, kualitas air, Sungai Diwak

ABSTRACT

The river became one of the natural resources that are vulnerable to contamination. Liquid waste from industrial activities could potentially be a source of contaminants that reduce water quality and assimilative capacity of rivers. Diwak River is a river in the District of Bergas, Semarang Regency which became the recipient water body for some industrial wastewater. This led to the emergence of problems with people due to alleged water pollution by industrial waste.

This study aims to recognize water quality of Diwak River in industrial area caused by the pollution load of industrial waste water, expressed by the indicator value of BOD, COD, TSS, DO and pH and also give recommendations for Diwak River Water Pollution Control using SWOT analysis. Location of sampling done on river's industrial segment from Kedungwuni to the Bridge Diwak and divided into 4 stations (ST1, ST2, ST3 and ST4) with samples of 3 industrial wastewater A, B, C (OT1, OT2 and OT3). River water sampling conducted in May 2011 (rainy season) and July 2011 (dry season).

From the analysis of waste water is known that these three industries provides the pollution load (BPAj) to Diwak River in form of value BOD, COD and TSS. The existence of this pollution load caused Diwak River water quality of the rainy and dry season does not meet the standard stream criteria for Class II, the water quality criteria for streams that have not been determined in accordance class Government Regulation (Peraturan Pemerintah No.82 Tahun 2001), because the BOD value that exceeds the quality standard. By the calculation using the Streeter-Phelps's Method, could be known that the river water in the rainy season has not exceeded the maximum BOD of the River Diwak capacity, but the opposite occurs in the dry season. Water pollution index on each station showed Diwak River Water Quality Status classified as light to medium polluted. This study provides the strategies of Diwak River Water Pollution Control, as follows : Study the class determination of water quality class and Maximum Daily Load as assimilative capacity for Diwak River, Increasing the frequency of supervision and monitoring activities of industrial activity, increasing the number of monitored points and the frequency of Diwak River water quality monitoring, and law enforcement or rewards to the industry in environmental management.

Key words: pollution load, River Diwak, water quality

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Sektor industri menjadi salah satu sektor penting dalam pembangunan suatu wilayah. Industri dianggap mampu membuka lapangan pekerjaan bagi tenaga yang menganggur, mendorong pertumbuhan teknologi yang berguna bagi kehidupan manusia, menumbuhkan berbagai kegiatan yang saling berkaitan dalam jaringan industri sehingga mampu berfungsi sebagai pendorong pembangunan.

Lokasi Kabupaten Semarang yang cukup strategis karena dilalui jalur-jalur yang menghubungkan pusat-pusat perkembangan wilayah di Jawa Tengah yaitu Semarang, Surakarta, dan Yogyakarta, menjadi salah satu faktor pendorong perkembangan industri Kabupaten Semarang.

Salah satu wilayah yang menunjukkan perkembangan pesat dalam industri di Kabupaten Semarang adalah Kecamatan Bergas. Dari penelitian oleh Abdullah (2010) menyebutkan bahwa perkembangan industri di Bergas disebabkan karena faktor tingginya penerimaan masyarakat terhadap pembangunan industri, dukungan aksesabilitas, ketersediaan lahan untuk industri, serta dukungan pemerintah.

Kecamatan Bergas termasuk dalam Sub Wilayah Pembangunan (SWP) II dengan rahan kegiatan SWP ini adalah kegiatan industri, pusat permukiman dan pertanian. Pengelolaan kawasan diarahkan pada usaha keterpaduan antar fungsi industri, permukiman dan pertanian dalam kawasan perkotaan. Belum tersedianya suatu area kawasan industri menyebabkan pertumbuhan lokasi industri – industri yang ada di Kecamatan Bergas. Perkembangan industri mempengaruhi pola pemanfaatan lahan.

Perubahan pola pemanfaatan lahan banyak terjadi di jalur menuju kawasan industri yaitu dari lahan sawah sebesar 40,5 % dan tegalan sebesar 47% Abdullah (2010).

Keberadaan industri di kawasan Bergas merupakan kegiatan yang sangat menunjang kegiatan perekonomian dan pendapatan asli daerah (PAD) kabupaten. Pada tahun 2009 penerimaan dari sektor industri adalah yang terbesar, yaitu mencapai 59,82% dari total PDRB kecamatan Bergas.

Jenis usaha/kegiatan industri di Kecamatan Bergas Kabupaten Semarang didominasi oleh industri pakaian jadi (55,17 %), industri furniture dan kayu (17,24 %), industri makanan dan minuman (10,34 %), industri tekstil (3,12 %), dan usaha/kegiatan lain-lain sebesar 12,5 % (Dinas Perindustrian dan Perdagangan Kabupaten Semarang, 2010).

Sungai sebagai sumber air merupakan salah satu sumber daya alam yang mempunyai fungsi serbaguna bagi kehidupan dan penghidupan manusia. Fungsi sungai yaitu sebagai sumber air minum, sarana transportasi, sumber irigasi, perikanan, dan lain sebagainya. Aktivitas manusia inilah yang menyebabkan sungai menjadi rentan terhadap pencemaran air baik. Begitu pula pertumbuhan industri dapat menyebabkan dampak penurunan kualitas lingkungan (Soemarwoto, 2003). Sungai sebagai badan air penerima air limbah industri menjadi salah satu yang rentan terhadap pencemaran. Menurut penelitian oleh Priyambada, *et al* (2008) di Sungai Serayu, Jawa Tengah, perubahan tata lahan yang diikuti dengan peningkatan aktivitas domestik, pertanian dan industri akan memberikan dampak terhadap kualitas air sungai. Menurut Effendi (2003), limbah industri merupakan salah satu sumber pencemar badan air, selain limpasan pertanian, limbah domestik, dan lain – lain.

Suatu sungai dikatakan tercemar jika kualitas airnya sudah tidak sesuai dengan peruntukannya. Kualitas air ini didasarkan pada baku mutu kualitas air sesuai kelas sungai berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

Dalam dokumen Status Lingkungan Hidup Daerah Kabupaten Semarang Tahun 2009, disebutkan bahwa dalam pengujian kualitas air pada 17 sungai di wilayah Kabupaten Semarang diperoleh hasil bahwa pada semua sungai terdapat parameter yang melebihi baku mutu sehingga tidak memenuhi kualitas air sesuai Kriteria Air Kelas II menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Salah satu sungai tersebut adalah sungai Diwak. Sungai Diwak adalah sungai yang menjadi badan air penerima buangan air limbah dari sejumlah industri di Kecamatan Bergas. Adanya aktivitas industri yang menghasilkan air limbah sering dianggap sebagai sumber pencemar utama di sungai Diwak. Dari data beberapa kasus dugaan pencemaran di Sungai Diwak di BLH Kabupaten Semarang, kegiatan industri diduga menjadi sumber pencemaran.

Tabel 1. Data Kasus Pencemaran Air di Sungai Diwak

| No | Tahun | Kasus Pengaduan |
|----|-------|--|
| 1. | 2007 | Pengaduan masyarakat tentang limbah cair yang mencemari sawah |
| 2. | 2008 | Pengaduan LSM tentang IPAL industri |
| 3. | 2009 | Pengaduan petani tentang air limbah industri yang mempengaruhi hasil panen |

Sumber : BLH Kabupaten Semarang, 2010

Selama ini belum pernah dilakukan penelitian yang khusus untuk mengetahui kondisi kualitas air Sungai Diwak. Dengan adanya penurunan kualitas air Sungai Diwak dan beberapa kasus dugaan pencemaran air sungai tersebut, maka perlu untuk dilakukan penelitian mengenai kualitas air Sungai Diwak sebagai dampak dari kegiatan industri sebagai upaya pengendalian pencemaran air sungai.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Dari uraian latar belakang tersebut di atas maka permasalahan yang melatarbelakangi penelitian ini adalah :

1. Bagaimana kualitas air Sungai Diwak pada segmen industri sebagai akibat adanya pengaruh beban pencemaran oleh air limbah industri?
2. Bagaimana rekomendasi pengendalian pencemaran air Sungai Diwak?

1.3 TUJUAN PENELITIAN

- a. Menganalisis kualitas air Sungai Diwak pada segmen industri sebagai akibat adanya pengaruh beban pencemaran oleh air limbah industri dengan indikator BOD, COD, TSS, DO, suhu dan pH.
- b. Merekomendasikan strategi pengendalian pencemaran air Sungai Diwak.

1.4 MANFAAT PENELITIAN

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

- a. Bagi Pengembangan Ilmu Pengetahuan
Sebagai referensi bagi penelitian sejenis tentang kualitas air sungai.
- b. Bagi Industri
Menjadi masukan bagi kebijakan pengolahan air limbah industri.
- c. Bagi Pemerintah
Menjadi masukan bagi pemerintah Kabupaten Semarang dalam membuat kebijakan di bidang pengendalian pencemaran air sungai.

1.5 ORISINALITAS PENELITIAN

Sampai saat ini belum pernah ada penelitian mengenai kualitas air sungai di Kabupaten Semarang dalam kaitannya dengan kegiatan industri. Upaya pemantauan kualitas air sungai di Bergas pernah dilakukan oleh Badan Lingkungan Hidup, namun dalam teknik analisa belum menggunakan Indek Pencemaran dan belum secara khusus menganalisa kualitas air sungai sebagai akibat kegiatan industri.

Beberapa penelitian tentang kualitas air sungai yang dijadikan referensi dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel. 2. Penelitian Sebelumnya

| No | Nama | Judul penelitian | Tujuan | Metode | Hasil |
|----|---|---|--|--|--|
| 1. | Wiwoho (2005) Tesis. MIL Undip | <i>Model identifikasi Daya Tampung Beban Cemaan Sungai Dengan QUAL2E</i> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Mengidentifikasi daya tampung beban cemar BOD dengan menggunakan metode QUAL2E. 2. Merekomendasikan kelas sungai Babon untuk pengendalian pencemaran sungai di masa yang akan datang | <ol style="list-style-type: none"> 1. Membagi Sungai Babon menjadi 8 ruas, dengan parameter BOD; hidrologi, debit dan penampang sungai. 2. Menghitung beban pencemaran 3. Membuat simulasi model untuk kualitas mutu air sungai Babon | <ol style="list-style-type: none"> 1. daya tampung beban cemar Sungai Babon : Km 0-5 melampaui kelas 1, Km 6-40 sudah melampaui standar kelas 1, 2, 3, dan 4 2. Merekomendasikan klasifikasi kelas untuk sungai Babon pada Km 0-5 dapat dimasukkan ke kelas 2, Km 6-26 kelas 3 (dengan penurunan cemar), dan Km 27-40 ke kelas 4 (dengan penurunan cemar). |
| 2. | Azwir (2006) Tesis MIL Undip | <i>Analisa Pencemaran Air Sungai Tapung Kiri Oleh Limbah Industri Kelapa Sawit PT. Pempura Masterindo di Kabupaten Kampar</i> | <ol style="list-style-type: none"> 1. menentukan perkiraan daya tampung sungai 2. Menentukan Indeks Pencemaran dan status mutu air sungai akibat pengaruh limbah industri kelapa sawit | Metode pengambilan sampel pada 7 titik. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Daya tampung sungai adalah BOD 17,13 dan COD 94,54 mg/L 2. Beban yang dibuang ke sungai melewati kriteria mutu air kelas I dan II. 3. Indeks Pencemaran Sungai Tapung Kiri termasuk kriteria cemar ringan |
| 3. | Priyambada, A. Ika, dkk, (2008) Jurnal Presipitasi, Vol 5 No.2 (September 2008); 55-62 | <i>Analisa Pengaruh Perbedaan Fungsi Tata Guna Lahan Terhadap Beban Cemar BOD Sungai Serayu</i> | Menganalisis pengaruh perbedaan tata guna lahan terhadap beban cemar BOD sungai Serayu, Jawa tengah | Pengukuran parameter BOD air sungai pada 17 titik dan membandingkan antara satu segmen dengan segmen lain | <ol style="list-style-type: none"> 1. Perubahan tata guna lahan oleh aktivitas domestik, pertanian dan industri berpengaruh pada kualitas air Sungai Serayu. 2. Aktivitas domestik memberi beban pencemaran terbesar |

| Tabel. 2 Penelitian Sebelumnya (<i>Lanjutan</i>) | | | | | |
|--|--|---|---|--|--|
| No | Nama | Judul penelitian | Tujuan | Metode | Hasil |
| 4. | Sahubawa, Latif. (2008) Jurnal Manusia dan Lingkungan, Vol.15 No.2 Juli 2008: 70-78 | <i>Analisis dan Prediksi Beban Pencemaran Limbah Cair Industri Kayu Lapis PT. Jati Dharma Indah, serta Dampaknya Terhadap Perairan Laut</i> | Mengetahui karakteristik, beban pencemaran serta distribusi pencemaran limbah cair industri kayulapis di perairan Laut Batu Gong, Teluk Banguala, Ambon. | Dengan melakukan pengukuran kualitas limbah cair indsutri kayu lapis, kualitas perairan laut, indeks diversitas plankton dan Koefisien Nilai Nutrisi (NVC) ikan. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Kadar parameter pencemar air telah melampaui ambang batas baik pada baku mutu air laut untuk budidaya perikanan maupun baku mutu limbah cair industri kayu lapis. 2. Indeks Diversitas Plankton pada lokasi C lebih besar dari normal dan rata – rata NVC lebih rendah dari nilai normal |
| 5. | Djuwan syah, dkk (2009) Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan Jilid 19 No.2 (2009): 109-121 | <i>Pencemaran Air Permukaan dan Air Tanah Dangkal di Hilir Kota Cianjur</i> | Mengetahui tingkat pencemaran air permukaan dan air tanah dangkal | Sampel air sungai diambil dengan kerapatn 1 km/ contoh pada bulan Mei dan Agustus. Juga diambil sampel air sumur gali yang terletak di dekat air permukaan. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Air tanah dan air dangkal di Hilir Cianjur telah mengalami pencemaran dengan tingkat berbeda 2. Limbah yang masuk melebihi daya pulih aliran sungai. |
| 6. | Agus Roma Purnomo (2010) Tesis MIL Undip | <i>Kajian Kualitas Perairan Sungai Sengkarang dalam Upaya Pengelolaan Perairan DAS Sengkarang Kabupaten Pekalongan.</i> | (1) Mengkaji kegiatan yang berpotensi menimbulkan beban pencemaran perairan ke Sungai Sengkarang. (2) Mengkaji kondisi kualitas Sungai Sengkarang. (3) Mengkaji pola pengelolaan DAS Sengkarang | Metode pengambilan sampel dengan membagi menjadi 3 segmen, <ol style="list-style-type: none"> 1. stasiun I terletak di daerah hulu sungai, 2. stasiun II terletak di tengah sungai 3. stasiun III terletak di hilir | <ol style="list-style-type: none"> 1. industri berpotensi mencemari Sungai Sengkarang adalah: washing, tenun, konveksi, tekstil, pembatikan, bordir, printing sejumlah 110 buah, dengan limbah 304,469 m³/hari. 2. Kondisi Sungai Sengkarang dikategorikan tercemar ringan. |

| Lanjutan Tabel. 2 Penelitian Sebelumnya (<i>Lanjutan</i>) | | | | | |
|---|--|--|---|--|---|
| No | Nama | Judul penelitian | Tujuan | Metode | Hasil |
| 7. | Pratiwi, Yuli (2010) Jurnal Teknologi, Vol 3 No.2 (Desember 2010): 129- 137 | <i>Penentuan Tingkat Pencemaran Limbah Industri Tekstil Berdasarkan Nutrition Value Coefficient Bioindikator</i> | Mengetahui tingkat pencemaran Sungai Blader, Cilacap berdasarkan NVC dan kualitas air sungai setelah menerima limbah industri tekstil | Penelitian dilakukan di 5 titik sepanjang sungai dengan jarak masing- masing 400 m. Serta NVC ikan. Parameter yang diukur CO2 terlarut, temperatur, DO dan pH. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Limbah cair industri tekstil menurunkan koefisien nilai nutrisi ikan menjadi 1,53 – 1,63. 2. Kualitas air sungai Blader pada lokasi tempat pembuangan limbah mengalami pencemaran lebih berat dibandingkan lokasi lain. |

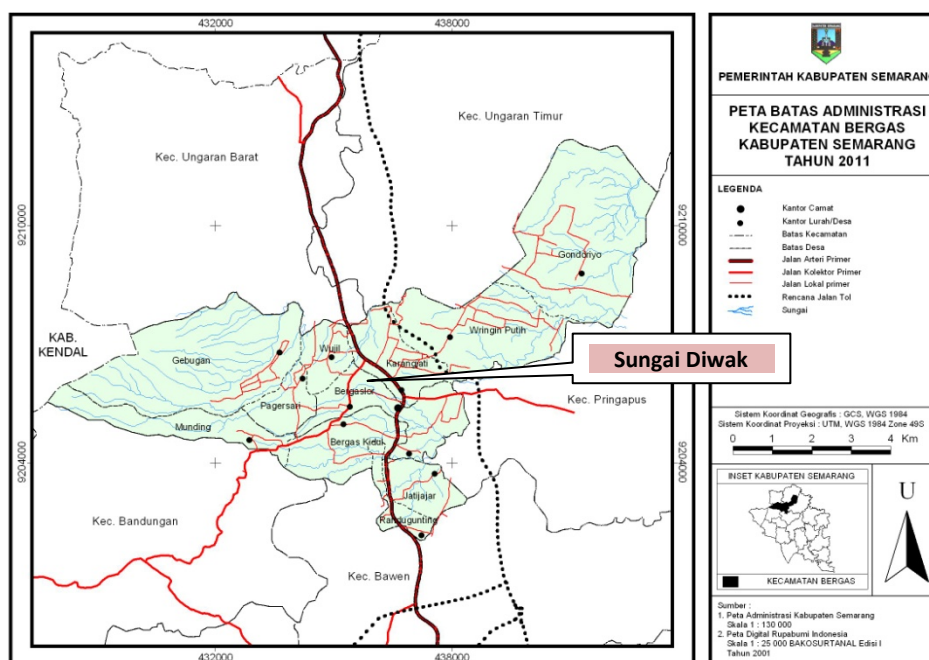
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran Umum Kecamatan Bergas

2.1.1 Letak Geografis dan Administratif

Wilayah Kecamatan Bergas berbatasan dengan 5 (lima) kecamatan lain yang ada di wilayah Kabupaten Semarang (Gambar 1). Di sebelah utara berbatasan dengan Kecamatan Ungaran Timur dan Ungaran Barat, di sebelah timur dengan Kecamatan Pringapus, di sebelah selatan dengan Kecamatan Bawen dan Bandungan, dan di sebelah barat dengan Kecamatan Bandungan dan Ungaran Barat.



Sumber: BAPPEDA Kabupaten Semarang, 2011

Gambar 1. Peta Wilayah Kecamatan Bergas Kabupaten Semarang

Luas wilayah kecamatan Bergas adalah 3.931,23 Ha atau 4,98% dari luas wilayah Kabupaten Semarang. Secara administratif wilayahnya terbagi menjadi 13 (tiga belas) desa/kelurahan, seperti ditunjukkan pada Tabel 3. sebagai berikut.

Tabel. 3. Nama dan Luas Desa/Kelurahan di Kecamatan Bergas Tahun 2010

| No | Nama Desa/ Kelurahan | Luas (km ²) | % Luas |
|-----|----------------------|-------------------------|--------|
| 1. | Munding | 179 | 3,78 |
| 2. | Pagersari | 205,3 | 4,34 |
| 3. | Gebugan | 794,8 | 16,79 |
| 4. | Wujil | 147,3 | 3,11 |
| 5. | Bergas Lor | 225,0 | 4,75 |
| 6. | Bergas Kidul | 383,0 | 8,09 |
| 7. | Randugunting | 107,8 | 2,28 |
| 8. | Jatijajar | 236,0 | 4,99 |
| 9. | Diwak | 65,9 | 1,39 |
| 10. | Ngempon | 165,0 | 3,49 |
| 11. | Karangjati | 343,0 | 7,25 |
| 12. | Wringin Putih | 1.332,0 | 28,14 |
| 13. | Gondoriyo | 549,0 | 11,60 |

Sumber : Kecamatan Bergas Dalam Angka Tahun 2010

2.1.2 Klimatologis

Kondisi rona lingkungan Kecamatan Bergas, Kabupaten Semarang sebagai berikut :

a. Suhu

Suhu harian rata-rata setiap bulannya adalah 27,4 °C.

b. Kelembaban relatif

Kelembaban relatif rata-rata harian antara 68,6 % sampai 83,6 % dengan rata-rata kelembaban bulanan 76,3 %.

c. Ketinggian

Lokasi Kecamatan Bergas berada pada ketinggian 400 m dpl.

d. Curah Hujan

Curah hujan pertahun rata – rata di wilayah Kecamatan Bergas, kabupaten Semarang adalah 3.245 mm. Data curah hujan bulanan tahun 2010 dapat dilihat pada Tabel. 4.

Tabel 4. Curah Hujan Bulanan dan Hari Hujan di Kecamatan Bergas

| No | Bulan | 2009 | | 2010 | |
|----|-----------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | | Curah Hujan Bulanan (mm) | Hari Hujan Bulanan (hari) | Curah Hujan Bulanan (mm) | Hari Hujan Bulanan (hari) |
| 1 | Januari | 1048 | 25 | 361 | 26 |
| 2 | Februari | 529 | 20 | 306 | 20 |
| 3 | Maret | 277 | 11 | 434 | 19 |
| 4 | April | 291 | 18 | 386 | 17 |
| 5 | Mei | 305 | 20 | 380 | 22 |
| 6 | Juni | 190 | 8 | 135 | 11 |
| 7 | Juli | 0 | 0 | 60 | 12 |
| 8 | Agustus | 0 | 0 | 181 | 11 |
| 9 | September | 54 | 6 | 303 | 17 |
| 10 | Oktober | 0 | 0 | 465 | 18 |
| 11 | November | 294 | 10 | 324 | 19 |
| 12 | Desember | 257 | 13 | 512 | 25 |

Sumber : Dinas Pertanian, Perkebunan dan Kehutanan Kab. Semarang, 2010

2.2 INDUSTRI

2.2.1 Pengertian Industri

Berdasarkan Undang – Undang Nomor 5 Tahun 1994, industri didefinisikan sebagai kegiatan ekonomi yang mengolah bahan mentah, bahan baku, barang setengah jadi, dan/atau barang jadi menjadi barang dengan nilai yang lebih tinggi untuk penggunaannya, termasuk kegiatan rancang bangun dan perekayasaan industri.

Biro Pusat Statistik (BPS) mendefinisikan industri pengolahan (termasuk jasa industri) adalah suatu kegiatan perubahan barang jadi/setengah jadi atau dari yang kurang nilainya menjadi barang yang lebih tinggi nilainya dengan maksud untuk dijual. Perusahaan/usaha industri adalah suatu unit (kesatuan) produksi yang terletak pada suatu tempat tertentu yang melakukan kegiatan untuk mengubah barang-barang (bahan baku) dengan mesin atau kimia atau dengan tangan menjadi produk baru, atau mengubah barang-barang yang kurang nilainya menjadi barang yang lebih tinggi nilainya, dengan maksud untuk mendekati produk tersebut dengan konsumen akhir.

2.2.2 Klasifikasi Industri

Menurut Kristanto (2004), industri dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- a) Industri dasar atau hulu
- b) Industri hilir
- c) Industri kecil

Selain pengelompokan di atas, industri juga diklasifikasikan secara konvensional, sebagai berikut (Kristanto, 2004):

1. Industri primer, yaitu industri yang mengubah bahan mentah menjadi bahan setengah jadi.
2. Industri sekunder, yaitu industri yang mengubah barang setengah jadi menjadi barang jadi.
3. Industri tersier, yaitu industri yang sebagian besar meliputi industri jasa dan perdagangan, atau industri yang mengolah bahan industri sekunder.

Sedangkan Biro Pusat Statistik (BPS) mengelompokkan industri menjadi empat kategori berdasarkan jumlah tenaga kerja, yaitu :

1. Industri besar , dengan jumlah tenaga kerja >100 orang.
2. Industri sedang, dengan jumlah tenaga kerja 20 – 99 orang.

3. Industri kecil, dengan jumlah tenaga kerja 5 – 19 orang.
4. Industri rumah tangga, dengan jumlah tenaga kerja < 5 orang.

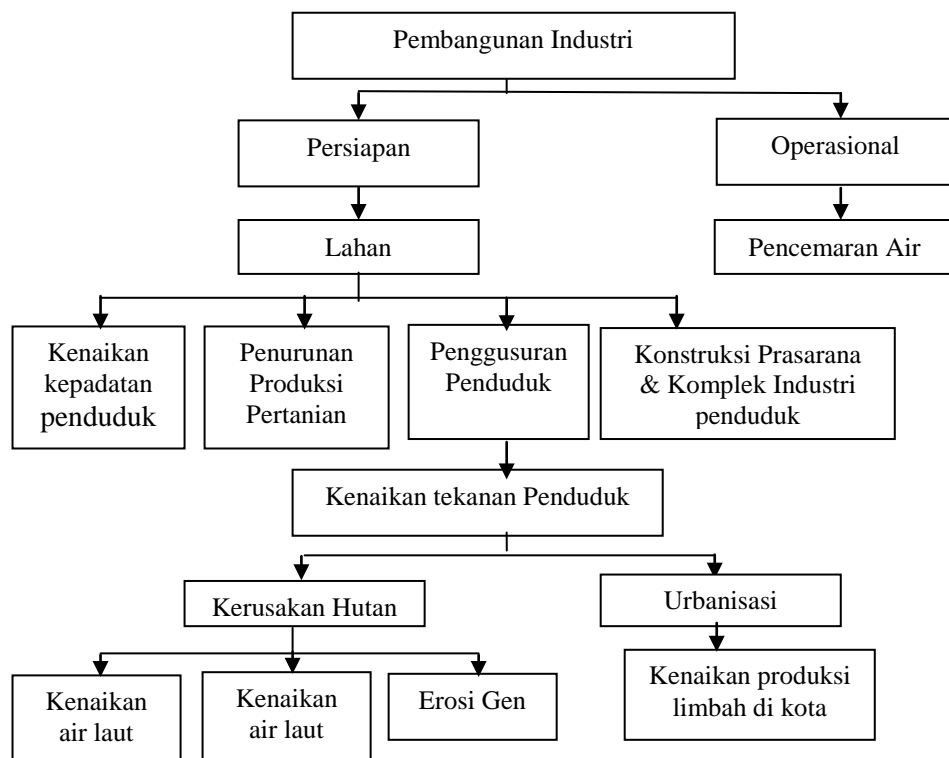
2.2.3 Faktor Pendukung Industri

Menurut Daldjoeni (1992), faktor-faktor geografis yang mendukung berdirinya industri adalah :

- a. Bahan Mentah
- b. Sumber Daya Tenaga penggerak mesin
- c. Suplai Tenaga Kerja, berdasarkan kebutuhan kuantitatif dan kualitatif.
- d. Suplai Air
- e. Pasaran
- f. Fasilitas Transportasi

2.2.4 Dampak Pembangunan Industri

Dampak pembangunan industri dijelaskan oleh Soemarwoto (2003) dan Kristanto (2004) sebagaimana pada Gambar 2. Diagram tersebut memperlihatkan dampak langsung dari tahap persiapan dan tahap operasional pembangunan industri, berupa kenaikan kepadatan penduduk, penurunan produksi pertanian, penggusuran penduduk, dan konstruksi prasarana dan kompleks industri, serta penurunan kualitas air permukaan di sekitar komplek industri. Selanjutnya sebagai akibat dari penggusuran penduduk mengakibatkan terjadinya tekanan penduduk yang berakibat pada munculnya masalah lingkungan fisik berupa kerusakan hutan dan masalah sosial yaitu terjadinya urbanisasi.



Sumber : Soemarwoto, Otto, 2003

Gambar 2. Diagram Dampak Pembangunan Industri

2.2.5 Industri di Wilayah Kecamatan Bergas

Dalam Revisi Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Semarang, Kecamatan Bergas bersama dengan Kecamatan Bawen, Kecamatan Pringapus dan sebagian Kecamatan Ungaran ditetapkan sebagai zona industri dan merupakan bagian Sub Wilayah Pembangunan (SWP) II dari Wilayah Pembangunan (WP) I dengan arahan kegiatan SWP ini adalah kegiatan industri, pusat permukiman, dan pertanian. Zona industri di Kecamatan Bergas banyak berkembang di desa/kelurahan Karangjati, Ngempon, Bergas Lor, Bergas Kidul dan Diwak (Laporan RTRW Kabupaten Semarang, 2006).

Di kecamatan Bergas terdapat 32 buah industri menengah – besar. Jenis industri dan potensi limbah yang dihasilkan oleh industri – industri di Kecamatan Bergas dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Jenis Industri di Kecamatan Bergas pada Tahun 2010

| | Jenis Kegiatan Industri | Persentase (%) | Potensi Limbah |
|----|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1. | Garment/pakaian jadi | 55,17 | padat |
| 2. | Furniture | 17,24 | Padat, debu |
| 3. | Makanan/minuman | 10,34 | cair |
| 4. | Tekstil | 3,12 | cair |
| 5. | Lain-lain | 12,50 | padat |

Sumber : Dinas Perindustrian Kabupaten Semarang, 2010

2.3 SUNGAI

2.3.1 Definisi dan Klasifikasi Sungai

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 35 Tahun 1991 tentang Sungai, definisi sungai adalah tempat-tempat dan wadah-wadah serta jaringan pengaliran air mulai dari mata air sampai muara dengan dibatasi kanan dan kirinya serta sepanjang pengalirannya oleh garis sempadan.

Sungai sebagai sumber air merupakan salah satu sumber daya alam yang mempunyai fungsi serbaguna bagi kehidupan dan penghidupan manusia. Menurut Mulyanto (2007) ada dua fungsi utama sungai secara alami yaitu mengalirkan air dan mengangkut sedimen hasil erosi pada Daerah Aliran Sungai dan alurnya. Kedua fungsi ini terjadi bersamaan dan saling mempengaruhi.

Jenis-jenis sungai berdasarkan debit airnya (Mulyanto, 2007) diklasifikasikan menjadi :

- a. Sungai permanen, adalah sungai yang debit airnya sepanjang tahun relatif tetap.

- b. Sungai Periodik, yaitu sungai yang pada waktu musim penghujan debit airnya besar, sedangkan pada musim kemarau debitnya kecil.
- c. Sungai Episodik, yaitu sungai yang pada musim kemarau kering dan pada waktu musim penghujan airnya banyak.
- d. Sungai Ephemeral, yaitu sungai yang hanya ada airnya saat musim hujan dan airnya belum tentu banyak.

2.3.2 Sungai Diwak

Sungai Diwak merupakan sungai kecil di wilayah Kabupaten Semarang yang berhulu pada Mata Air Situk di Desa Pagersari, Kecamatan Bergas. Sungai sepanjang 11,5 km ini bermuara pada aliran sungai yang lebih besar yaitu Sungai Klampok.

Sungai Diwak melewati wilayah 2 (dua) desa di Kecamatan Bergas, yaitu Desa Bergas Kidul dan Desa Diwak (Gambar 4.1). Data kependudukan dari Desa Bergas Kidul dan Diwak yang meliputi jumlah penduduk dan komposisi penduduk menurut jenis kelamin tersaji pada Tabel. 6. Untuk data penggunaan lahan di Desa Bergas Kidul dan Desa Diwak ditunjukkan oleh Tabel. 7.

Tabel 6. Jumlah Penduduk Kecamatan Bergas Tahun 2009

| No | Penduduk | Jumlah (jiwa) | | | |
|----|-------------------|---------------|--------|--------|-------|
| | | L | P | Total | % |
| 1. | Desa Bergas Kidul | 3.108 | 3.126 | 6.234 | 10,59 |
| 2. | Desa Diwak | 503 | 481 | 984 | 1,67 |
| 3. | Kecamatan Bergas | 29.019 | 29.824 | 58.843 | 100 |

Sumber :Kecamatan Bergas Dalam Angka 2010

Tabel 7. Luas Penggunaan Lahan Kecamatan Bergas Tahun 2009

| No | Jenis Lahan | Luas (ha) | | |
|----|-----------------|------------------|-------------------|------------|
| | | Kecamatan Bergas | Desa Bergas Kidul | Desa Diwak |
| 1. | Lahan sawah | 1.057,26 | 197, 82 | 30,00 |
| 2. | Lahan non sawah | 3.675,84 | 185, 18 | 35,90 |
| | Total | 4.733,10 | 225,00 | 65,90 |

Sumber :Kecamatan Bergas Dalam Angka 2010

2.4 PENCEMARAN AIR

2.4.1. Definisi dan Sumber Pencemaran Air

Dalam Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, pasal 1, pencemaran air didefinisikan sebagai : *“masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak dapat berfungsi sesuai peruntukannya”*.

Beban pencemar (polutan) adalah bahan – bahan yang bersifat asing bagi alam atau bahan yang berasal dari alam itu sendiri yang memasuki suatu tatanan ekosistem sehingga mengganggu peruntukan ekosistem tersebut (Effendi, 2003). Sumber pencemaran yang masuk ke badan perairan dibedakan atas pencemaran yang disebabkan oleh alam (polutan alamiah) dan pencemaran karena kegiatan manusia (polutan antropogenik). Air buangan industri adalah air buangan dari kegiatan industri yang dapat diolah dan digunakan kembali dalam proses atau dibuang ke badan air setelah diolah terlebih dahulu sehingga polutan tidak melebihi ambang batas yang diijinkan. Menurut Sugiharto (1987) Air limbah didefinisikan sebagai kotoran dari masyarakat dan rumah tangga dan juga yang berasal dari industri, air tanah, air permukaan serta buangan lainnya.

Menurut Davis dan Cornwell (1991), sumber bahan pencemar yang masuk ke perairan dapat berasal dari buangan yang diklasifikasikan :

1. *Point source discharges* (sumber titik), yaitu sumber titik atau sumber pencemar yang dapat diketahui secara pasti dapat berupa suatu lokasi seperti air limbah industri maupun domestik serta saluran drainase. Air limbah adalah sisa dari suatu hasil usaha dan atau kegiatan yang berwujud cair (PP No.82 Tahun 2001).
2. *Non point source* (sebaran menyebar), berasal dari sumber yang tidak diketahui secara pasti. Pencemar masuk ke perairan melalui run off (limpasan) dari wilayah pertanian, pemukiman dan perkotaan.

2.4.2. Indikator Pencemaran Air

Indikator kimia yang umum pada pemeriksaan pencemaran air adalah :

A. Parameter Kimia

1. pH atau Derajat keasaman

Agar memenuhi syarat untuk suatu kehidupan, air harus mempunyai pH sekitar 6,5 – 7,5. Bila $pH < 7$, maka air bersifat asam, jika $pH > 7$, maka air bersifat basa. Air limbah dan bahan buangan industri dapat mengubah pH air sehingga akan mengganggu kehidupan biota akuatik yang sensitif terhadap perubahan pH.

2. Oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen, DO*)

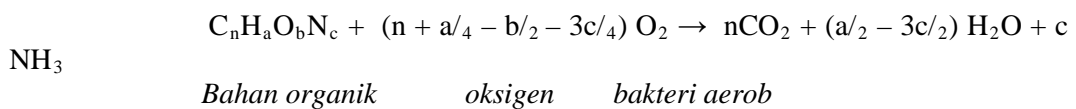
Oksigen terlarut dalam air sangat penting agar mikroorganisme dapat hidup. Oksigen ini dihasilkan dari atmosfer atau dari reaksi fotosintesa oleh algae. Kelarutan Oksigen jenuh dalam air pada 25° C dan tekanan 1 atmosfer adalah 8,32 mg/L. Menurut Yang Hon Jung (2007) konsentrasi DO yang rendah akan

menurunkan tingkat nitrifikasi sehingga nilai $\text{NO}_3 - \text{N}$ pada air sungai menjadi rendah dengan TN dan $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ yang tinggi. Hal ini dapat menghalangi self purifikasi (pemurnian diri) pada permukaan air, dengan mengurangi laju proses transformasi nitrifikasi – denitrifikasi pada air.

3. Kebutuhan Oksigen Biokimia (KOB) atau *Biochemiyical Oxygen Demand (BOD)*

BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme dalam lingkungan air untuk memecah (mendegradasi) bahan buangan organik yang ada dalam air menjadi karbondioksida dan air.

Menurut *Sawyer dan McCarty*, 1978 (Effendi, 2003) proses penguraian bahan buangan organik melalui proses oksidasi oleh mikroorganisme atau oleh bakteri aerobik adalah :



Proses oksidasi bio-kimia ini berjalan sangat lambat dan dianggap lengkap (95-96%) selama 20 hari. Tetapi penentuan BOD selama 20 hari dianggap masih cukup lama sehingga penentuan BOD ditetapkan selama 5 hari inkubasi, maka biasa disebut BOD_5 . Dengan mengukur BOD_5 akan memperpendek waktu dan meminimumkan pengaruh oksidasi ammonia yang juga menggunakan oksigen. Selama 5 hari masa inkubasi, diperkirakan 70%-80% bahan organik telah mengalami oksidasi (Effendi, 2003).

BOD tidak menunjukkan jumlah bahan organik yang sebenarnya, tetapi hanya mengukur secara relatif jumlah O_2 yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan–bahan buangan tersebut. Jika konsumsi O_2 tinggi yang ditunjukkan dengan semakin

diuji oleh BOD karena bakteri akan mati serta membutuhkan waktu pengujian lebih singkat yaitu 3 jam.

B. Parameter Fisika

1. Suhu

Menurut Effendi (2003), suhu dari suatu badan air dipengaruhi oleh musim, lintang (latitute), ketinggian dari permukaan laut, waktu dalam hari, sirkulasi udara, penutupan awan, dan aliran serta kedalaman.

2. Total Suspended Solid (TSS)

Total Suspended Solid atau padatan tersuspensi (diameter $> 1 \mu\text{m}$) yang tertahan pada saringan dengan diameter pori $0,45\mu\text{m}$. Padatan yang menyebabkan kekeruhan air, tidak terlarut, dan tidak dapat mengendap. TSS terdiri dari lumpur, pasir halus, dan jasad renik akibat erosi tanah. Partikel menurunkan intensitas cahaya yang tersuspensi dalam air.

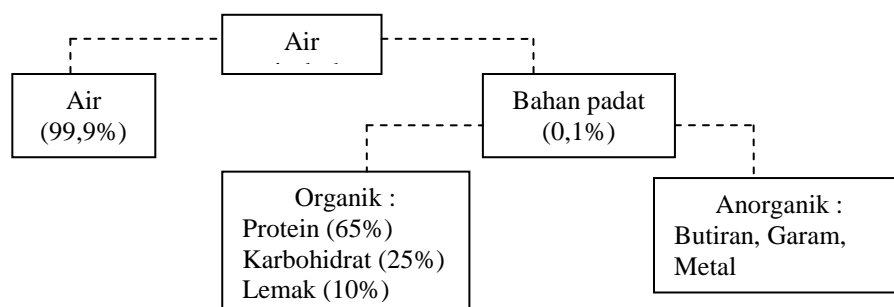
2.4.3 Komponen Pencemaran Air

Pengelompokkan komponen pencemaran air yang berasal dari industri, rumah tangga (pemukiman) dan pertanian Wardhana (1995):

1. Limbah padat
2. Bahan buangan organik dan olahan bahan makanan
3. Bahan buangan anorganik
4. Bahan buangan cairan berminyak
5. Bahan buangan berupa panas (polusi thermal)
6. Bahan buangan zat kimia, yaitu sabun, insektisida dan zat pewarna.

2.4.4 Komposisi Air Limbah

Komposisi air limbah bervariasi sesuai dengan sumber asalnya. Secara umum zat – zat yang terdapat dalam air limbah dikelompokkan sebagai Gambar 3.



Sumber : Sugiharto, 1997

Gambar 3. Skema pengelompokkan bahan dalam air limbah

2.4.5 Air Limbah Industri

Kandungan zat – zat dalam air limbah industri ditentukan oleh jenis industri. Dalam air limbah yang berasal dari industri minuman terdapat parameter yang perlu diperhatikan yaitu BOD5, pH, Suspended solid, minyak dan lemak, warna, jumlah Coli, bahan beracun, temperatur, kekeruhan dan buih (Sundstorm & H.E Klei, 1979 dalam Sugiharto, 1987). Kebanyakan limbah pengolahan bahan makanan/ minuman mempunyai pH tinggi, karena penggunaan kaustik seperti larutan alkali dalam pencucian botol. Larutan kaustik ini dapat mempunyai pH sekitar 12-13 (Jenie dan Rahayu, 1993).

a. Industri Minuman Beralkohol

Bahan dasar pembuatan alkohol adalah molase atau tetes hasil samping dari pabrik gula. Molase tersebut diencerkan dengan air dan difermentasi oleh khamir selama masa inkubasinya. Dari hasil penelitian oleh Sudadi (1999) didapatkan bahwa limbah cair industri alkohol mengandung unsur-unsur pokok seperti N, P dan K serta bahan organik dalam jumlah yang relatif besar. Komposisi kimia bahan pembuatan alkohol, yaitu molase juga mengandung unsur-unsur yang cukup penting untuk tanaman, ditambah sel-sel khamir yang ada maka dimungkinkan limbah alkohol masih sangat kaya akan bahan organik, mineral, protein, lemak dan vitamin yang sangat penting untuk pertumbuhan tanaman.

b. Industri Jamu

Industri jamu tradisional biasanya menggunakan bahan – bahan alami seperti tanaman obat dan tanaman pangan seperti jahe, kunyit, dan sebagainya. Air limbah industri jamu tradisional mempunyai karakteristik bahan organik yang mudah terurai sehingga perlu diolah sebelum dibuang ke lingkungan (Ginting, 1992). Limbah cair pengolahan pangan umumnya mempunyai kandungan nitrogen yang rendah, *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan padatan tersuspensi tinggi dan berlangsung dengan proses dekomposisi cepat. Limbah pengolahan makanan/ minuman dihasilkan dari pencucian, pemotongan, *blanching*, pasteurisasi, pembuatan jus bahan mentah, pembersihan peralatan pengolahan dan pendinginan produk akhir (Jenie dan Rahayu, 1993).

c. Industri Minuman Ringan

Industri minuman ringan adalah industri yang menghasilkan minuman yang tidak mengandung alkohol, merupakan minuman olahan dalam bentuk bubuk atau cair yang mengandung bahan makanan dan /

atau bahan tambahan lainnya baik alami maupun sintetis yang dikemas dalam kemasan siap untuk dikonsumsi.

Proses pembuatan minuman ringan berlangsung melalui tahapan pencampuran gula, filtrasi, sterilisasi, unit pencampur sirup, pengisian botol/ kaleng serta disertai pencucian botol. Dari proses-proses yang terjadi pada industri ini, air limbahnya banyak mengandung substansi yang berpengaruh besar pada kadar BOD, COD, TSS, pH, warna dan kandungan minyak dan lemak. Setiap proses dalam industri menghasilkan tingkat pencemaran yang berbeda (Arifin, dkk, 2011).

Menurut Todd (1970) dalam Sugiharto (1987), air limbah industri minuman ringan bersumber dari pencucian botol, pembersihan lantai dan peralatan, sirup penyimpanan dan bak saluran. Sifat – sifat umum air limbahnya adalah mempunyai pH tinggi, padatan tersuspensi dan BOD.

2.4.6 Self Purification

Lingkungan perairan bereaksi terhadap masuknya bahan pencemar sebagai mekanisme alami untuk kembali pada kualitas air semula. Proses ini disebut *self purification* yang sebenarnya terdiri dari daur ulang material (Vismara, 1998 dalam Vagnetti, 2003). Definisi lain dari *self purification* adalah pemulihan oleh proses alami baik secara total ataupun sebagian kembali ke kondisi awal sungai dari bahan asing yang secara kualitas maupun kuantitas menyebabkan perubahan karakteristik fisik, kimia dan atau biologi yang terukur dari sungai (Benoit, 1971 dalam Vagnetti, 2003). Proses pemulihan secara alami berlangsung secara fisik, kimiawi dan biologi. Pada saluran atau sungai yang alami, yaitu bukan saluran beton, secara signifikan dapat mendukung alami proses pemurnian diri dan menyebabkan kualitas air yang lebih baik dari kondisi air semula (Vagnetti, 2003).

2.5 PENGENDALIAN PENCEMARAN AIR

Menurut Undang – Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, disebutkan bahwa pengendalian pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup dilaksanakan dalam rangka pelestarian fungsi lingkungan hidup yaitu meliputi tindakan pencegahan, penanggulangan dan pemulihan. Sedangkan menurut PP 82/2001, Pengendalian Pencemaran Air dilakukan untuk menjamin kualitas air sesuai dengan baku mutu melalui upaya pencegahan dan penanggulangan pencemaran air serta pemulihan kualitas lingkungan.

Peraturan Menteri Lingkungan hidup Nomor 01 Tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air disebutkan definisi pengendalian pencemaran air adalah upaya pencegahan dan penanggulangan pencemaran air serta pemulihan kualitas air untuk menjamin kualitas air agar sesuai dengan baku mutu air.

Ruang lingkup yang diatur dalam Peraturan Menteri ini meliputi:

- a. inventarisasi dan identifikasi sumber pencemar air;
- b. penetapan daya tampung beban pencemaran air;
- c. penetapan baku mutu air limbah;
- d. penetapan kebijakan pengendalian pencemaran air;
- e. perizinan;
- f. pemantauan kualitas air;
- g. pembinaan dan pengawasan; dan
- h. penyediaan informasi.

2.5.1 Baku Mutu Air

a) Baku Mutu Air Sungai

Baku mutu air adalah ukuran batas atau kadar makhluk hidup, zat, energi, atau komponen yang ada atau harus ada dan atau unsur pencemar

yang ditenggang keberadaannya di dalam air. Sedangkan Kelas air adalah peringkat kualitas air yang dinilai masih layak untuk dimanfaatkan bagi peruntukan tertentu.

Klasifikasi dan kriteria mutu air mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran air yang menetapkan mutu air ke dalam empat kelas :

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

Pembagian kelas ini didasarkan pada tingkatan baiknya mutu air berdasarkan kemungkinan penggunaannya bagi suatu peruntukan air (*designated beneficial water uses*). Peruntukan lain yang dimaksud dalam kriteria kelas air di atas, misalnya kegunaan air untuk proses produksi dan pembangkit tenaga listrik, asalkan kegunaan tersebut dapat menggunakan air sebagaimana kriteria mutu air dari kelas yang dimaksud.

b) Baku Mutu Air Limbah

Baku mutu air limbah adalah ukuran batas atau kadar atau jumlah unsur pencemar yang ditentang keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang atau dilepas ke dalam sumber air dari suatu usaha dan atau kegiatan. Batas atau kadar ini mengacu pada Peraturan Daerah Jawa Tengah No.10 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah yang disesuaikan dengan jenis industri masing - masing.

2.5.2 Daya Tampung Beban Pencemaran (DTBP)

Beban pencemaran adalah jumlah suatu unsur pencemar yang terkandung dalam air limbah. Perhitungan beban pencemaran dapat sebagai kontrol terhadap industri apakah industri tersebut mengolah limbahnya dengan baik atau tidak.

Sedangkan daya tampung beban cemaran sungai adalah kemampuan air pada suatu sumber air untuk menerima masukan beban pencemaran tanpa mengakibatkan air tersebut menjadi cemar. Pada dasarnya sungai mempunyai kemampuan sungai dalam memperbaiki dirinya dari unsur pencemar (Self purifikasi). Namun kemampuan ini terbatas sehingga apabila masuk sejumlah bahan pencemar dalam jumlah banyak maka kemampuan tersebut menjadi tidak terlalu berarti mengembalikan sungai dalam kondisi yang lebih baik. Kemampuan alamiah sungai inilah yang membatasi daya tampung sungai terhadap pencemar.

Sungai adalah salah satu sumber air permukaan yang rentan terhadap pencemaran, termasuk pencemaran yang disebabkan oleh industri yang berada disepanjang sungai. Penetapan daya tampung beban pencemaran merupakan pelaksanaan pengendalian pencemaran air yang menggunakan pendekatan kualitas air (*water quality based control*). Pendekatan ini bertujuan mengendalikan zat pencemar yang berasal dari berbagai sumber pencemar ke dalam sumber air dengan mempertimbangkan kondisi intrinsik sumber air dan baku mutu air yang ditetapkan.

Penentuan daya tampung beban pencemaran dapat ditentukan dengan cara menggunakan :

1. Metode Neraca Massa.

Perhitungan Neraca Massa dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi rata-rata aliran hilir (*down stream*) yang berasal dari sumber pencemar *point sources* dan *non point sources*. Metode perhitungan ini daya tampung beban pencemaran dihitung menggunakan neraca massa dari komponen – komponen sumber pencemar kemudian dibandingkan dengan baku mutu beban pencemaran sesuai kelas air. Metode ini hanya tepat digunakan untuk komponen – komponen yang tidak mengalami perubahan (tidak terdegradasi, tidak hilang karena pengendapan, penguapan atau aktivitas lainnya). Penggunaan neraca massa untuk komponen lain seperti DO dan BOD hanya merupakan pendekatan saja.

2. Metode *Streeter dan Phelps*

Pemodelan sungai diperkenalkan oleh Streeter dan Phelps pada tahun 1925 menggunakan persamaan kurva penurunan oksigen (*oxygen sag curve*) dimana metode pengelolaan kualitas air ditentukan atas dasar defisit oksigen kritik D_c . Pemodelan Streeter dan Phelps hanya terbatas pada dua fenomena yaitu :

- a. Proses pengurangan oksigen terlarut (deoksigenasi) akibat aktivitas bakteri dalam mendegradasi bahan organik yang ada dalam air
- b. Proses peningkatan oksigen terlarut (reaerasi) yang disebabkan turbulensi yang terjadi pada aliran sungai.

Kurva Penurunan Oksigen (*Oxygen sag curve*)

Jika kedua proses di atas dialurkan dengan konsentrasi oksigen terlarut sebagai sumbu tegak dan waktu atau jarak sebagai

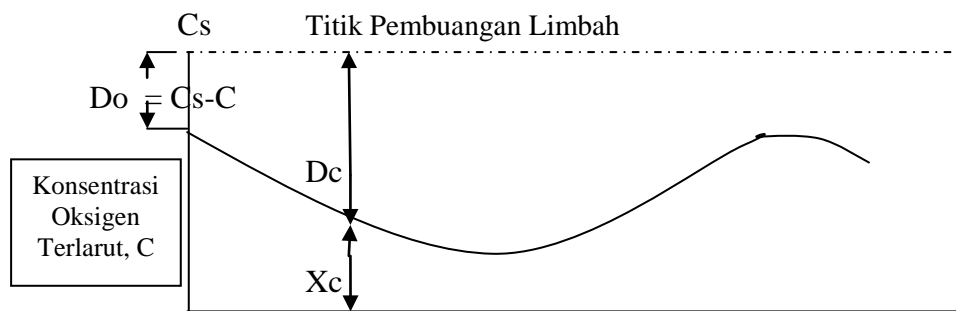
sumbu datar, maka hasil pengaluran kumulatif yang menyatakan interaksi proses deoksigenasi dan reaerasi adalah kurva kandungan oksigen terlarut dalam badan air. Kurva ini dikenal sebagai kurva penurunan oksigen (*oxygen sag curve*). Perubahan kadar oksigen di dalam sungai dapat dimodelkan dengan mengasumsikan sungai sebagai reaktor alir sumbat.

$$D_t = \frac{K' L_0}{K'_2 - K'} (e^{-K't} - e^{-K'2t}) + D_0 e^{-K't} \dots\dots\dots(2-1)$$

Dengan : D_t = defisit oksigen pada waktu t , mg/L

D_0 = defisit oksigen awal pada titik buangan pada waktu $t=0$, mg/L

Persamaan 2-1 merupakan persamaan Streeter-Phelps *oxygen-sag* yang biasa digunakan pada analisis sungai. Gambar kurva *oxygen-sag* ditunjukkan pada Gambar 4. berikut ini.



Gambar 4. Kurva Karakteristik *Oxygen-Sag* Berdasarkan Persamaan Streeter – Phelps

Suatu metoda pengelolaan kualitas air dapat dilakukan atas dasar defisit oksigen kritis D_c , yaitu kondisi deficit DO terendah yang dicapai akibat beban yang diberikan pada aliran tersebut. Selain itu juga ditentukan waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi kritis tersebut (t_c) dan letak (posisi, x_c) kondisi kritis.

2.5.3 Status Mutu Air dengan Metode Indeks Pencemaran

Status mutu air adalah tingkat kondisi mutu air yang menunjukkan kondisi cemar atau kondisi baik pada suatu sumber air yang diukur dan atau diuji berdasarkan parameter – parameter tertentu dan metode tertentu dalam waktu tertentu dengan membandingkan dengan baku mutu air yang ditetapkan. Sumitomo dan Nemerow (1970) dalam Lampiran II Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup mengusulkan suatu indeks yang berkaitan dengan senyawa pencemaran parameter untuk suatu peruntukan. Indeks ini dinyatakan sebagai Indeks Pencemaran yang digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran terhadap parameter kualitas air yang diizinkan.

Perhitungan tingkat pencemaran menggunakan Metode Indeks Pencemaran seperti pada Kep-MENLH N0.115 tahun 2003. Indeks Pencemaran (IP) ditentukan untuk suatu peruntukan, kemudian dapat dikembangkan untuk beberapa peruntukan bagi seluruh badan air atau sebagian dari suatu sungai. Pengelolaan kualitas air atas dasar Indeks Pencemaran (IP) ini dapat memberikan masukan pada pengambilan keputusan untuk menilai kualitas badan air untuk suatu peruntukan serta melakukan tindakan untuk memperbaiki kualitas jika penurunan kualitas akibat kehadiran senyawa pencemar. Indeks pencemaran mencakup berbagai parameter kualitas yang independen dan bermakna.

Definisi dari Indeks Pencemaran adalah apabila L_{ij} menyatakan konsentrasi parameter kualitas air yang tercantum dalam baku mutu peruntukan air (J), dan C_i menyatakan konsentrasi parameter kualitas air (i) yang diperoleh dari suatu badan air, maka P_{ij} adalah Indeks pencemaran bagi peruntukan (j) yang merupakan fungsi dari C_i/L_{ij} . Tiap nilai C_i/L_{ij} menunjukkan pencemaran relatif yang diakibatkan oleh parameter kualitas air, nisbah ini tidak mempunyai satuan. Nilai $C_i/L_{ij} = 1,0$ adalah nilai yang kritis, karena nilai ini diharapkan untuk dipenuhi bagi suatu Baku Mutu Peruntukan Air. Jika $C_i/L_{ij} > 1,0$ untuk suatu parameter, maka konsentrasi parameter ini harus dikurangi atau disisihkan, kalau badan air tersebut digunakan untuk peruntukan (j). Jika parameter ini

adalah parameter yang bermakna bagi peruntukan, maka pengolahan mutlak harus dilakukan bagi air itu.

Pada metode IP digunakan berbagai parameter kualitas air, maka pada penggunaannya dibutuhkan nilai rerata dari keseluruhan nilai C_i/L_{ij} sebagai tolak ukur pencemaran, tetapi nilai ini tidak akan bermakna jika salah satu nilai C_i/L_{ij} bernilai >1 . Jadi indeks ini mencakup nilai C_i/L_{ij} yang maksimum. Sungai akan semakin tercemar untuk suatu peruntukan (j) jika nilai $(C_i/L_{ij})_R$ atau $(C_i/L_{ij})_M$ adalah lebih besar dari 1,0. Jika nilai $(C_i/L_{ij})_M$ dan atau nilai $(C_i/L_{ij})_R$ makin besar, maka tingkat pencemaran suatu badan air akan semakin besar.

Jadi rumus yang digunakan untuk mengetahui tingkat pencemaran pada sungai digunakan rumus dibawah ini:

$$P_{ij} = \sqrt{\frac{(C_i / L_{ij})^2_M + (C_i / L_{ij})^2_R}{2}} \dots\dots\dots(2.23)$$

Dimana :

L_{ij} = Kosentrasi parameter kualitas air yang dicantumkan dalam baku mutu peruntukan air (J)

C_i = Kosentrasi parameter kualitas air dilapangan

P_{ij} = Indeks pencemaran bagi peruntukan (J)

$(C_i/L_{ij})_M$ = Nilai, C_i/L_{ij} maksimum

$(C_i/L_{ij})_R$ = nilai, C_i/L_{ij} rata-rata

Metode ini menghubungkan tingkat pencemaran suatu perairan yang dipakai untuk peruntukan tertentu dengan nilai parameter – parameter tertentu, seperti ditunjukkan pada Tabel 8. Berikut ini.

Tabel 8. Indek Pencemaran (IP)

| Nilai IP | Mutu Perairan |
|------------|---------------|
| 0 – 1,0 | Kondisi baik |
| 1,1 – 5,0 | Cemar Ringan |
| 5,0 - 10,0 | Cemar sedang |
| >10,0 | Cemar berat |

Sumber : Kep-MENLH NO.115 tahun 2003

2.5.4 Peraturan Perundangan tentang Pengendalian Pencemaran Air

Peraturan perundangan yang berhubungan dengan Pengendalian Pencemaran air untuk industri dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Peraturan Perundang – Undang Pengendalian pencemaran Air

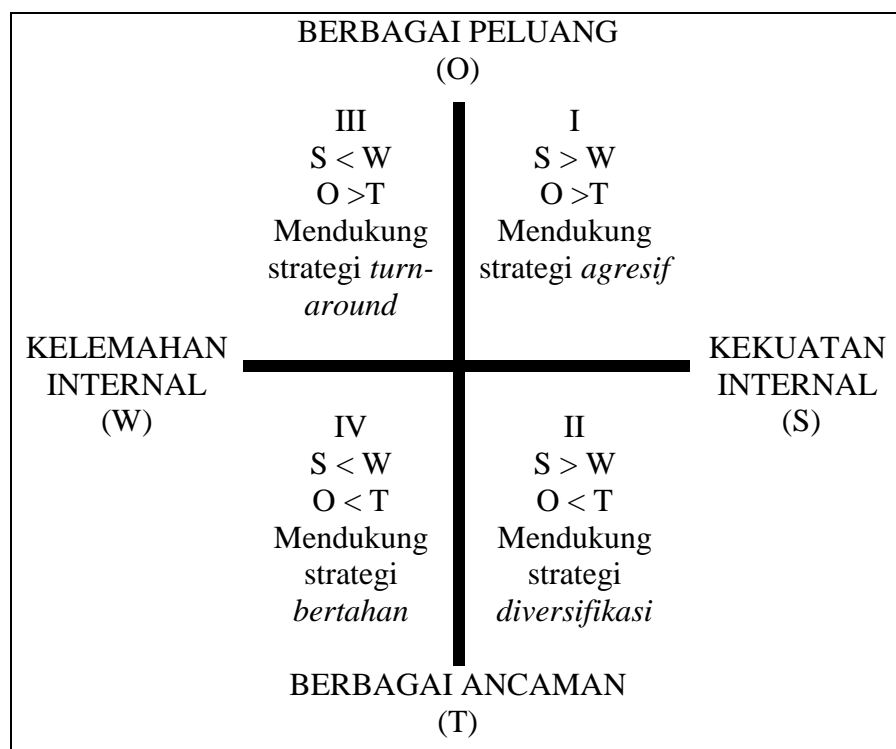
| No | Peraturan Perundang –Undangan | Isi |
|----|---|--|
| 1. | Undang – Undang No. 32 Tahun 2009 | Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup |
| 2. | Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 | Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air |
| 3. | Permen LH Nomor 01 Tahun 2010 | Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air |
| 4. | Kep-MENLH N0.110 tahun 2003 | Pedoman Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran Air Sumber Air |
| 5. | Kep-MENLH N0.115 tahun 2003 | Pedoman Penentuan Status Mutu Air |
| 6. | Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah No. 10 Tahun 2004 | Baku Mutu Air limbah |
| 7. | Peraturan Daerah Kabupaten Semarang No.10 Tahun 2004 | Perijinan Pembuangan Limbah Cair ke Lingkungan |

2.6 ANALISIS SWOT

Menurut Rangkuti (1997) Analisis SWOT adalah identifikasi berbagai faktor secara sistematis untuk merumuskan rencana pengelolaan. Berbagai situasi yang dihadapi baik faktor internal (kekuatan dan kelemahan) maupun faktor eksternal (peluang dan ancaman) dijadikan masukan untuk menentukan rencana strategis dalam menyusun rencana pengelolaan yang sesuai. Analisis ini berdasarkan logika untuk memaksimalkan kekuatan (*Strenght*) dan peluang (*Opportunity*) dan meminimalkan kelemahan (*Weakness*) dan ancaman (*Threat*).

Kajian analisis SWOT dilakukan berdasarkan pembobotan terhadap komponen kekuatan, kelemahan, ancaman dan peluang untuk membandingkan antara kekuatan dan kelemahan sebagai faktor internal sehingga akan diperoleh hasil kombinasi antara beberapa situasi sebagai berikut :

1. Kekuatan, peluang (S,O) yaitu perencanaan pengelolaan lingkungan dengan memanfaatkan kekuatan untuk menggunakan peluang yang menguntungkan.
2. Kelemahan, peluang (W,O) yaitu perencanaan pengelolaan lingkungan dengan cara meminimalkan kelemahan dengan memanfaatkan peluang yang menguntungkan.
3. Kekuatan, Ancaman (S,T) yaitu memanfaatkan kekuatan untuk mengatasi ancaman.
4. Kelemahan, Ancaman (W,T) meminimalkan kelemahan dan menghindari ancaman.



Gambar 5. Diagram Analisis SWOT

Hasil perbandingan atau posisi pada diagram SWOT (Gambar 5) memiliki interpretasi sebagai berikut :

Kuadran I ($S > W$ dan $O > T$)

Situasi ini adalah sangat menguntungkan. Strategi yang harus diterapkan adalah mendukung kebijakan pengendalian pencemaran air Sungai Diwak yang agresif.

Kuadran II ($S > W$ dan $O < T$)

Situasi ini menunjukkan bahwa kebijakan pengendalian pencemaran air Sungai Diwak dilakukan dengan memanfaatkan kekuatan yang ada untuk menanggulangi ancaman. Strategi yang digunakan dengan diversifikasi.

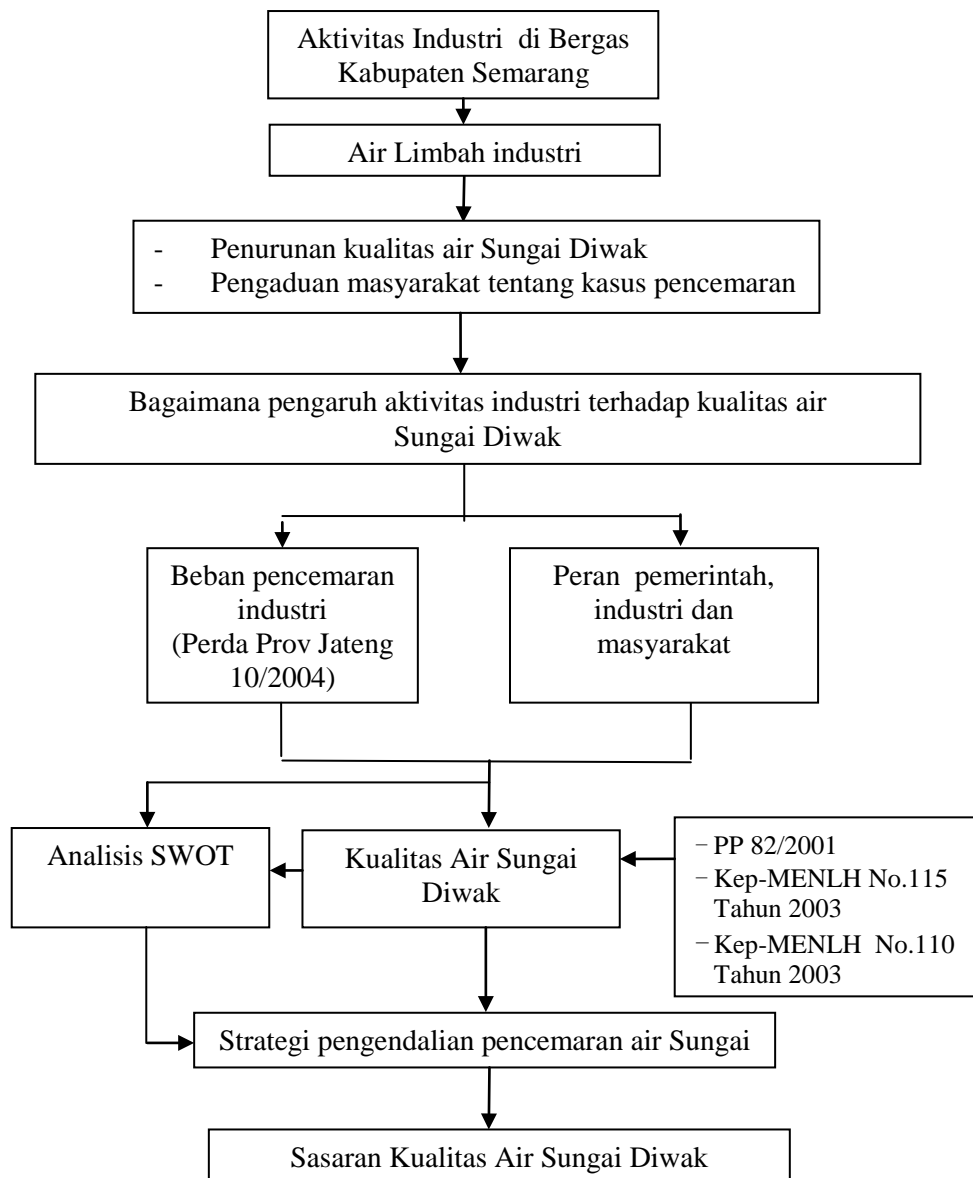
Kuadran III ($S < W$ dan $O > T$)

Situasi ini menunjukkan bahwa dalam pengendalian pencemaran air Sungai Diwak terdapat kelemahan – kelemahan yang harus diatasi dengan memanfaatkan peluang yang ada.

Kuadran IV ($S < W$ dan $O < T$)

Situasi ini sangat tidak menguntungkan bagi upaya pengendalian pencemaran air Sungai Diwak akibat adanya ancaman dan kelemahan.

2.7 KERANGKA BERPIKIR



Gambar 6. Kerangka Pikir

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Pendekatan Penelitian

Metode penelitian menggunakan analisis deskriptif dengan pendekatan kuantitatif dari kondisi kualitas air sungai dan analisis rekomendasi upaya pengendalian pencemaran air dengan metode SWOT.

Rancangan penelitian yang dilakukan sebagai berikut : 1) Studi literatur berkaitan dengan topik penelitian; 2) Orientasi lapangan; 3).Menentukan lokasi penelitian; 4). Menentukan obyek dan titik pengambilan sampel penelitian; 5). Pengumpulan data primer dan data sekunder; 6). Menganalisis data.

3.2 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian Pelaksanaan penelitian meliputi:

- a. Pengaruh kegiatan industri yang dimaksudkan dalam penelitian ini adalah berupa air limbah yang dihasilkan dari proses produksi dan dibuang ke Sungai Diwak, Bergas, Kabupaten Semarang.
- b. Penelitian dilakukan pada segmen antara Kedungwuni dan Jembatan Diwak dimana terdapat 3 industri makanan/minuman.
- c. Fenomena yang dianalisa adalah potensi beban cemar, kualitas air dan status mutu air Sungai Diwak sebelum dan setelah dipengaruhi oleh air limbah industri pada musim yang berbeda (penghujan dan kemarau).
- d. Parameter kualitas air yang diukur adalah Suhu, pH, BOD, COD, TSS, DO dan Debit.

3.3 Lokasi dan waktu penelitian

3.3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan wilayah Kecamatan Bergas, Kabupaten Semarang. Pengambilan sampel air dilakukan di Sungai Diwak.

3.3.2 Waktu penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Mei- Juli 2011. Pengambilan sampel air sungai dilakukan dua kali yaitu pada Bulan Mei dan Juli, dimana masing – masing dianggap mewakili musim penghujan dan kemarau berdasarkan curah hujan. Data perbedaan curah hujan pada Bulan Mei dan Juli ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Perbedaan Curah Hujan Bulan Mei dan Juli di Kecamatan Bergas

| No | Bulan | Curah Hujan Bulanan (mm) | | Hari Hujan Bulanan (hari) | |
|----|-------|--------------------------|------|---------------------------|------|
| | | 2009 | 2010 | 2009 | 2010 |
| 1 | Mei | 305 | 20 | 380 | 22 |
| 2 | Juli | 0 | 0 | 60 | 12 |

3.4 Bahan dan alat

- a. Seperangkat alat dan bahan pengambilan sampel kualitas air
- b. Alat pengukur debit sungai.

3.5 Jenis dan Sumber Data

Jenis data dan sumber data yang diperlukan dalam penelitian dapat dilihat dalam Tabel 11.

Tabel 11. Kebutuhan Data

| No | Jenis Data | Metode | Sumber |
|----|---|----------------------|--|
| a. | Data Primer | | |
| | 1. Hasil pengujian kualitas air sungai dan air limbah industri dengan parameter BOD, COD, TSS, DO, suhu, pH dan debit air | Observasi | Sungai dan industri |
| | 2. Kebijakan Pengendalian Pencemaran air | Wawancara, observasi | BLH, masyarakat |
| b. | Data Sekunder | | |
| | 1. Profil Industri, kependudukan, curah hujan, peta | - Studi Pustaka | - Kec.Bergas, Dinas Perindustrian, Dinas Pertanian , Bappeda |
| | 2. Hasil pemantauan kualitas air sungai | - Studi Pustaka | - BLH |
| | 3. Peraturan Perundangan tentang Pengendalian Pencemaran Air | - Studi pustaka | - BLH |
| | 4. Dok.UKL-UPL, dsb | - Studi Pustaka | - KPPT, BLH |

3.6 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh data sebagai bahan masukan bagi tahapan analisis dengan teknik sebagai berikut :

1) Data sekunder

Data sekunder didapatkan dengan meminta informasi berupa literatur, laporan, peta, peraturan, dokumen lingkungan, dll dari studi pustaka, media internet maupun dari instansi terkait seperti Badan Lingkungan Hidup Kabupaten Semarang, Dinas Perindustrian Kabupaten Semarang, Bappeda, Kantor Pelayanan Perijinan Terpadu Kabupaten Semarang, Dinas Tenaga Kerja, Kecamatan Bergas.

- 2) Data Primer, didapatkan dari :
- a. Observasi lapangan dan pengukuran kualitas air sungai dan air limbah industri.

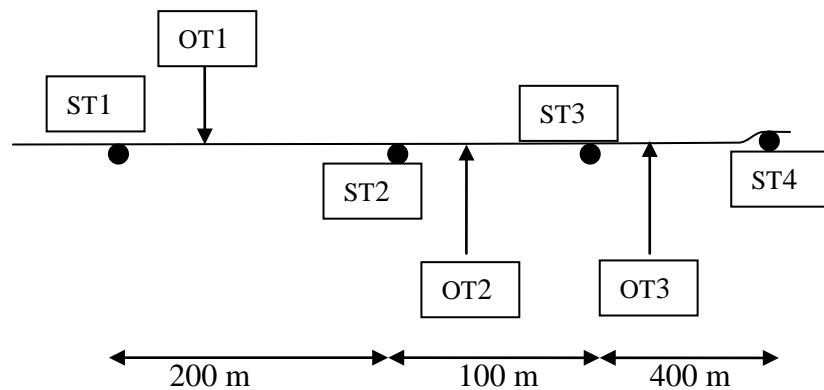
Pengambilan sampel air limbah industri dilakukan pada outlet IPAL air limbah industri sebelum masuk ke badan air. Pengambilan contoh air limbah dilakukan secara *grab sample* (pengambilan sesaat). Titik pengambilan sampel air sungai dilakukan berdasarkan debit sungai. Dari pengukuran debit diperoleh hasil bahwa debit Sungai Diwak $< 5 \text{ m}^3/\text{detik}$, sehingga sampel air diambil pada satu titik di tengah sungai pada 0,5 m x kedalaman sungai (Effendi, 2003). Sampel air kemudian dibawa ke laboratorium untuk dianalisa.

- b. Wawancara

Wawancara dilakukan untuk memperoleh informasi tentang kebijakan pengendalian pencemaran air sungai di Kabupaten Semarang, serta untuk melengkapi data - data yang tidak bisa diperoleh dari data primer dan sekunder. Kegiatan wawancara dilakukan kepada instansi terkait dan atau masyarakat.

3.7 Penentuan Titik Pengambilan Sampel Kualitas air

Stasiun penelitian ditentukan dengan menggunakan "*sample survey method*", yaitu metode pengambilan sampel yang dilakukan dengan membagi daerah penelitian menjadi stasiun – stasiun yang diharapkan dapat mewakili populasi penelitian. Penentuan titik pengambilan kualitas air sungai didasarkan pada pertimbangan kemudahan akses, biaya dan waktu sehingga ditentukan titik-titik yang dianggap mewakili kualitas air limbah industri dan kualitas air sungai Diwak.



Gambar 7. Skema Gambar *Point Sources* Sungai Diwak

Titik – titik tersebut adalah :

1. Stasiun ST1 : pada sebelah hulu sebelum lokasi outlet industri A, untuk mengetahui kualitas perairan sebelum dipengaruhi oleh air limbah.
2. Stasiun OT1 : outlet pembuangan air limbah dari IPAL industri A.
3. Stasiun ST2 : pada sebelah hilir setelah lokasi industri A dan sebelum outlet industri B.
4. Stasiun OT2 : outlet pembuangan air limbah dari IPAL industri B.
5. Stasiun ST3 : pada sebelah hilir setelah lokasi industri B dan sebelum outlet industri C.
6. Stasiun OT3 : outlet pembuangan air limbah dari IPAL industri C.
7. Stasiun ST4 : pada arah hilir setelah lokasi outlet industri C mewakili titik yang mengalami perubahan kualitas air oleh aktivitas industri.

3.8 Parameter yang diukur

- a) Berdasarkan karakteristik limbah dari ketiga industri yang membuang air limbah ke Sungai Diwak, maka parameter yang diukur dalam penelitian ini adalah : Suhu, pH, BOD, COD, TSS, DO dan Debit.

b) Penanganan Sampel

Sampel air untuk setiap titik sampling ditempatkan dalam botol plastik volume 1 liter sejumlah 1 buah dan botol plastik volume 0,5 liter sejumlah 3 (tiga) buah. Perlakuan terhadap botol sampel dilakukan seperti tersaji dalam Tabel 12.

Tabel 12. Perlakuan terhadap sampel

| No | Analisa | Perlakuan |
|----|---------|--|
| 1. | BOD | Sampel air didinginkan |
| 2. | COD | Sampel air + H ₂ SO ₄ hingga pH <2 |
| 3. | DO | Sampel air + MnSO ₄ + NaOH |

c) Metode Analisis sampel

Sampel air sungai dan air limbah yang telah diambil dianalisa di laboratorium dengan metode yang sesuai ketentuan SNI sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 13. berikut ini.

Tabel 13. Parameter Kualitas Air dan Metode Analisis

| No | Parameter | Satuan | Metode Analisis |
|----|-----------|--------|-----------------|
| 1. | Suhu | °C | Pemuaian |
| 2. | pH | - | Potensiometer |
| 3. | BOD | mg/L | Titimetri |
| 4. | COD | mg/L | Reflux tertutup |
| 5. | DO | mg/L | Titrimetri |

3.9 Teknik Analisis Data

1) Analisis Beban Pencemaran Air Limbah Industri

- a. Data hasil uji kualitas air limbah industri baik berupa parameter kimia maupun fisika dibandingkan terhadap baku mutu air yang telah ditetapkan. Baku mutu air limbah industri berdasarkan Peraturan

Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 10 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah sesuai jenis industri masing – masing.

b. Beban Pencemaran Sebenarnya

$$BPA_j = (CA)_j \times DA \times f \dots\dots\dots(1)$$

Dimana,

- BPA = Beban pencemaran sebenarnya unsur pencemar j (kg/hari)
 (CA)_j = Kadar sebenarnya unsur pencemar j (mg/l)
 DA = Debit limbah cair sebenarnya (m³ /hari)
 f = Fakfor konversi

c. Beban pencemaran Maksimum

$$BPM_j = (BPM)_j \times Pb \times f \dots\dots\dots(2)$$

Dimana,

- BPM = Beban pencemaran maksimum unsur pencemar (kg/hari)
 (BPM)_j = Beban pencemar maksimum sesuai baku mutu (mg/l)
 Pb = kapasitas produksi sehari
 f = Fakfor konversi

Perhitungan beban pencemaran dapat sebagai kontrol terhadap industri apakah industri tersebut mengolah limbahnya dengan baik atau tidak, dan menurut ketentuan BPA tidak boleh lebih besar dari BPM.

2) Analisis Kualitas Air Sungai

- a. Data hasil uji kualitas air sungai berupa parameter kimia maupun fisika dibandingkan terhadap baku mutu air yang telah ditetapkan. Baku mutu air sungai yang digunakan berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan pengendalian Pencemaran Air.

b. Menentukan Status Mutu Air dengan Indek Pencemaran (IP)

Rumus yang digunakan untuk mengetahui tingkat pencemaran pada sungai digunakan rumus dibawah ini :

$$P_{ij} = \sqrt{\frac{(C_i / L_{ij})^2_M + (C_i / L_{ij})^2_R}{2}} \quad \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

L_{ij} = Kosentrasi parameter kualitas air yang dicantumkan dalam baku mutu peruntukan air (J)

C_i = Kosentrasi parameter kualitas air dilapangan

P_{ij} = Indeks pencemaran bagi peruntukan (J)

$(C_i/L_{ij})_R$ = nilai, C_i/L_{ij} rata-rata

$(C_i/L_{ij})_M$ = Nilai, C_i/L_{ij} maksimum

c. Menghitung daya tampung dan daya pulih beban pencemaran sungai Diwak dengan Metode Streeter dan Phelps menggunakan nilai BOD dan DO.

Langkah – langkah perhitungan :

1. Menentukan temperatur, DO dan BOD setelah pencampuran (T_C , DO_C , BOD_C) dengan pendekatan persamaan

$$T_C = \frac{Q_r T_r + Q_w T_w}{Q_r + Q_w} \quad \dots\dots\dots(4)$$

dengan : T_c = temperatur awal pada titik buangan setelah pencampuran, °C

Q_r = laju alir sungai, m³/detik

Q_w = laju alir air limbah, m³/detik

T_r = temperatur air sungai sebelum pencampuran °C

T_w = temperatur air limbah, °C

2. Menentukan defisit DO setelah pencampuran.

- a. DO jenuh pada temperatur campuran dilihat pada Tabel Kejenuhan Oksigen (Cole, 1993 dalam Effendi, 2003),
- b. L_0 adalah BOD campuran ultimat saat $t = 0$, dengan nilai K' pada 20°C adalah $0,3 \text{ hari}^{-1}$ nilai K'_2 pada 20°C adalah $0,7 \text{ hari}^{-1}$

$$La = \frac{BOD_{5,20}}{1 - e^{-5K'}} \dots\dots\dots(4)$$

- c. Defisit DO pada keadaan awal $t=0$

$$(D_0) = DO \text{ jenuh} - DO \text{ campuran} \dots\dots\dots(5)$$

3. Koreksi laju reaksi pada temperatur setelah pencampuran pada T_c

- a. $K'_T = K'_{20}(1,047)^{T-20} \dots\dots\dots(6)$
- b. $K'_{2T} = K'_{2(20)}(1,016)^{T-20} \dots\dots\dots(7)$

4. Menentukan waktu kritis (t_c) dan jarak kritis (x_c)

- a. Waktu kritis (t_c)

$$t_c = \frac{1}{K'_2 - K'} \ln \frac{K'_2}{K'} \left\{ 1 - \left\{ \frac{D_0(K'_2 - K')}{K' L_0} \right\} \right\} \dots\dots\dots(8)$$

- b. Jarak kritis dengan persamaan,

$$x_c = t_c \cdot v \dots\dots\dots(9)$$

Dengan v = kecepatan aliran sungai (km/hari)

5. Menentukan defisit Oksigen Kritis (D_C) dan DO saat titik kritis (x_c) dengan menggunakan persamaan :

$$D_c = \frac{K'}{K'_2} L_0 e^{-t_i \theta - k' t_c} C \dots\dots\dots(10)$$

$$DO \text{ pada } t_c = (DO \text{ jenuh pada } T_c) - D_c \dots\dots\dots(11)$$

6. Menentukan beban BOD maksimum pada air sungai sebagai daya tampung beban pencemaran BOD

- a. Menghitung beban BOD ultimat maksimum (D_{all}):

$$D_{all} = DO \text{ jenuh pada } T_c - DO \text{ baku mutu} \dots \dots \dots (12)$$

Dengan baku mutu DO untuk air kelas II = 4 mg/l

$$\text{Log } La = \text{Log } D_{all} + \{K'_1 (K'_2 - K'_1)\} \left\{1 - \frac{D_o}{D_{all}}\right\}^{0,418} \text{Log} \left(\frac{K'_2}{K'_1}\right) \dots (13)$$

- b. Beban BOD maksimum dengan persamaan

$$BOD_{maks} = La(1 - e^{-5K'}) \dots \dots \dots (14)$$

3) Menganalisis Rekomendasi Pengendalian Pencemaran Air Sungai Diwak dengan menggunakan Analisis SWOT (*Strength-S, Weakness-W, Opportunity-O and Threat-T*).

- a. Menyusun aspek dan indikator pengendalian pencemaran air Sungai Diwak berdasarkan hasil pengamatan, wawancara, kondisi kualitas air sungai dan pelaksanaan pengendalian pencemaran di Kabupaten Semarang.

Ruang lingkup yang dijadikan dasar rekomendasi upaya pengendalian pencemaran air Sungai Diwak adalah Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 01 Tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air.

Ruang lingkup yang diatur dalam Peraturan Menteri ini meliputi 7 hal yaitu :

- 1) Inventarisasi dan identifikasi sumber pencemar air;
- 2) Penetapan daya tampung beban pencemaran air;
- 3) Penetapan baku mutu air limbah;
- 4) Penetapan kebijakan pengendalian pencemaran air;
- 5) Perizinan;
- 6) Pemantauan kualitas air;
- 7) Pembinaan dan pengawasan; dan penyediaan informasi.

- b. Melakukan analisis SWOT terhadap indikator pengendalian pencemaran air sungai.

Metode yang digunakan dalam penilaian terhadap indikator – indikator tersebut di atas dengan memisahkannya ke dalam dua kriteria umum (Purnomo, 2010), yaitu :

1. Kriteria penilaian yang bersifat mendorong, yaitu yang berperan sebagai kekuatan (S) dan peluang (O). Besarnya nilai yang diberikan atas indikator tersebut disesuaikan dengan klasifikasinya.
2. Kriteria penilaian yang bersifat menghambat, yaitu yang berperan sebagai kelemahan (W) dan ancaman (T). Besarnya nilai yang diberikan juga disesuaikan dengan klasifikasinya.

Klasifikasi Nilai digunakan skor 1-3 dari pengaruhnya sebagai faktor pendukung atau penghambat.

- a. Untuk Kekuatan (S) dan Peluang (O)

Nilai 1 = kategori tidak mendukung

Nilai 2 = kategori cukup mendukung

Nilai 3 = kategori sangat mendukung

- b. Untuk Kelemahan (W) dan Ancaman (T)

Nilai 1 = kategori tidak menghambat

Nilai 2 = kategori cukup menghambat

Nilai 3 = kategori sangat menghambat

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, ruang lingkup penelitian dilakukan pada Sungai Diwak yaitu dimulai pada daerah Kedungwuni hingga Jembatan Diwak dengan koordinat titik pantau pada S = 07 °11' 49,1''; E = 110°25' 31,7'' hingga S = 07 °11' 56,9''; E = 110°25' 94,4''. Untuk mengetahui pengaruh aktivitas industri dalam hal ini efluent air limbah terhadap kualitas air Sungai Diwak, ruas antara Kedungwuni – Jembatan Diwak dibagi menjadi 3 segmen dengan 4 titik pengambilan sampel air sungai (ST1, ST2, ST3 dan ST4) dan 3 titik effluent air limbah industri (OT1, OT2 dan OT3). Gambar lokasi penelitian dan skema titik pengambilan sampel ditunjukkan pada Gambar 8.

1. Segmen I (antara ST 1 dan ST2)

Segmen ini terletak pada ± 8,6 hingga ± 8,8 km dari hulu Sungai Diwak. Pada segmen sepanjang ± 200 m ini terdapat *effluent* air limbah dari IPAL Industri A sebagai sumber pencemar *point sources* (OT1).

2. Segmen II (antara ST2 dan ST3)

Pada segmen sepanjang ± 100 m ini terdapat *effluent* air limbah dari IPAL Industri B sebagai sumber pencemar *point sources* (OT2).

3. Segmen III (antara ST3 dan ST4)

Pada segmen sepanjang ± 400 m ini terdapat *effluent* air limbah dari IPAL Industri C sebagai sumber pencemar *point sources* (OT3).

Tabel 14. Jenis Industri pada Lingkup Penelitian

| No | Industri | Jenis Industri | Lokasi | Titik Outlet air limbah |
|----|------------|--------------------|---------------------------|-------------------------|
| 1 | Industri A | Minuman beralkohol | Desa Bergas Kidul | OT1 |
| 2 | Industri B | Minuman ringan | Desa Bergas Kidul | OT2 |
| 3 | Industri C | Jamu | Desa Bergas Kidul & Diwak | OT3 |

Sumber : Dinas Perindustrian Kabupaten Semarang, 2010

- a) Hasil pengujian Air Limbah Industri pada outlet masing – masing industri dibandingkan dengan menggunakan baku mutu Peraturan Daerah Propinsi Jawa Tengah Nomor 10 Tahun 2004 sesuai jenis industrinya. Hasil analisa kualitas air limbah disajikan dengan Tabel 15, 16 dan 17.

Tabel.15. Hasil Analisa Kualitas Air Limbah Industri Minuman Beralkohol (Industri A)

| No | Parameter | Satuan | Hasil Analisa | Kadar Maks* | Ket. |
|----|------------------|----------------------|---------------|-------------|--------------------|
| 1. | BOD ₅ | mg/L | 181,44 | 40 | melebihi baku mutu |
| 2. | COD | mg/L | 380,5 | 100 | melebihi baku mutu |
| 3. | TSS | mg/L | 40 | 55 | melebihi baku mutu |
| 4. | .pH | - | 7,5 | 6-9 | memenuhi baku mutu |
| | Debit | m ³ /hari | 32 | | |

Sumber: Data Primer, *)Perda Provinsi Jateng No.10/2004

Tabel.16. Hasil Analisa Kualitas Air Limbah Industri Minuman Ringan (Industri B)

| No | Parameter | Satuan | Hasil Analisa | Kadar Maks* | Ket |
|----|------------------|----------------------|---------------|-------------|--------------------|
| 1. | BOD ₅ | mg/L | 5,376 | 50 | memenuhi baku mutu |
| 2. | COD | mg/L | 33,49 | 100 | memenuhi baku mutu |
| 3. | TSS | mg/L | 30 | 21 | memenuhi baku mutu |
| 4. | .pH | - | 7,8 | 6-9 | memenuhi baku mutu |
| | Debit | m ³ /hari | 192 | | |

Sumber: Data Primer, *)Perda Provinsi Jateng No.10/2004

Tabel.17. Hasil Analisa Kualitas Air Limbah Industri Jamu (Industri C)

| No | Parameter | Satuan | Hasil Analisa | Kadar Maks* | Ket |
|----|------------------|----------------------|---------------|-------------|--------------------|
| 1. | BOD ₅ | mg/L | 2,688 | 75 | memenuhi baku mutu |
| 2. | COD | mg/L | 25,88 | 150 | memenuhi baku mutu |
| 3. | TSS | mg/L | 16 | 75 | memenuhi baku mutu |
| 4. | .pH | - | 7,7 | 6-9 | memenuhi baku mutu |
| | Debit | m ³ /hari | 22,4 | | |

Sumber: Data Primer, *)Perda Provinsi Jateng No.10/2004

Seperti telah dijelaskan pada Bab II, sifat – sifat umum air limbah pada industri makanan dan minuman adalah mempunyai pH, padatan tersuspensi dan BOD tinggi. Begitu juga dengan hasil analisa air limbah dari ketiga industri ini. Dari hasil uji kualitas air limbah Industri B dan C keseluruhan parameter sudah memenuhi baku mutu yang ditetapkan oleh Perda Provinsi Jateng No.10 Tahun 2004. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja unit IPAL industri B dan C cukup baik dalam mengolah air limbah sehingga air limbah yang dibuang ke Sungai Diwak memenuhi baku mutu.

Hasil uji kualitas air limbah Industri A menunjukkan bahwa hanya parameter pH yang memenuhi baku mutu sedangkan 2 parameter lain yaitu BOD dan COD melebihi baku mutu yang ditetapkan. Kadar BOD mencapai 181,44 mg/l dari baku mutu 40 mg/l, dan COD mencapai 380,5 mg/l dari baku mutu 100 mg/l. Hal ini menunjukkan kinerja unit Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) industri A masih belum maksimal untuk mengolah air limbah agar parameter BOD, dan COD memenuhi baku mutu yang ditetapkan.

b) Beban Pencemaran Air Limbah Industri

Dari data hasil pengujian kualitas air limbah dari ketiga industri dapat digunakan untuk menentukan beban pencemaran dari masing – masing parameter (Tabel 18.)

Tabel.18 Konsentrasi dan Beban Pencemaran Industri di Sungai Diwak

| | Nama Industri | BOD | | | COD | | | TSS | | |
|-------|---------------|--------|------|-----|-------|-------|------|-----|------|-------|
| | | CAj | BPA | BPM | CAj | BPA | BPM | CAj | BPA | BPM |
| 1 | Industri A | 181,44 | 5,81 | 7,2 | 380,5 | 12,18 | 14,7 | 55 | 1,72 | 112,5 |
| 2 | Industri B | 5,376 | 1,03 | 18 | 33,49 | 6,43 | 29,4 | 21 | 4,03 | 225 |
| 3 | Industri C | 2,688 | 0,06 | 7,2 | 25,88 | 0,58 | 8,82 | 16 | 0,36 | 112,5 |
| Total | | | 6,9 | | | 19,19 | | | 6,11 | |

Sumber: Analisis Data 2011

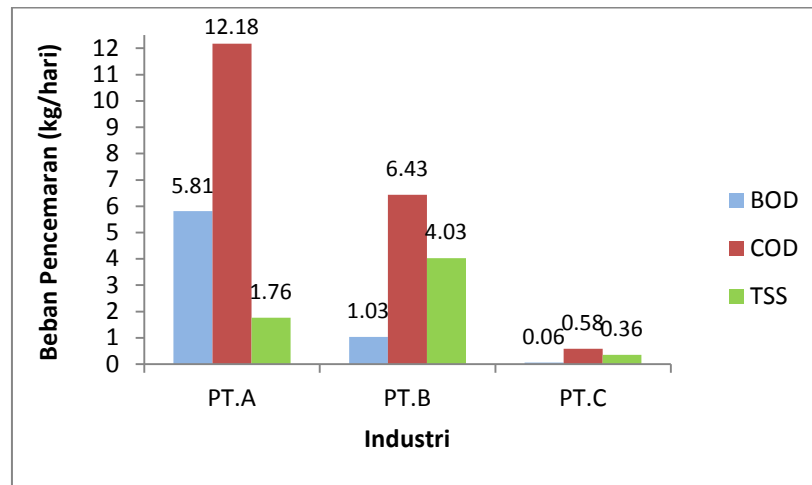
CAj = Kadar sebenarnya unsur pencemar j (mg/l)

BPA = Beban pencemaran sebenarnya unsur pencemar j (kg/hari)

BPM = Beban pencemaran maksimum nya (kg/hari)

Beban pencemaran sebenarnya (BPA) dari industri dipengaruhi oleh debit dan konsentrasi zat pencemar pada air limbah. Dari Gambar 10. terlihat bahwa untuk parameter BOD, industri A menyumbang beban terbanyak yaitu 5,81 kg/hari, sedangkan industri B sebesar 1,03 kg/hari dan Industri C sebesar 0,06 kg/hari. Hal ini dikarenakan konsentrasi BOD pada air limbah Industri A (181,44 mg/L) jauh lebih besar jika dibandingkan dengan konsentrasi BOD pada Industri B (5,376 mg/L) dan C (2,688 mg/L).

Begitu pula halnya dengan beban pencemaran (BPA) untuk parameter COD, industri A menyumbang beban terbanyak yaitu 12,18 kg/hari, sedangkan industri B sebesar 6,43 kg/hari dan Industri C sebesar 0,58 kg/hari. Hal ini dikarenakan konsentrasi COD pada air limbah Industri A (380,5 mg/L) jauh lebih besar jika dibandingkan dengan konsentrasi BOD pada Industri B (33,49 mg/L) dan C (25,88 mg/L). Untuk beban pencemaran yang bersumber pada *Total Suspended Solid* (TSS), industri B adalah penyumbang terbesar yaitu 4,03 kg/hari. Sedangkan Industri A dan C masing – masing sebesar 1,76 kg/hari dan 0,38 kg/hari.



Sumber: Analisis Data 2011

Gambar 9. Beban Pencemaran oleh Industri pada Sungai Diwak

Dari data beban pencemaran untuk tiga parameter yaitu BOD, COD dan TSS, diperoleh hasil bahwa industri C menyumbang beban pencemar yang paling kecil di antara ketiga industri. Secara keseluruhan beban pencemaran yang dibuang ke Sungai Diwak adalah berupa nilai BOD sebesar 6,9 kg/hari, nilai COD sebesar 19,9 kg/hari dan TSS sebesar 6,11 kg/hari. Namun beban pencemaran sebenarnya dari masing – masing parameter (BPAj) yang dihasilkan oleh ketiga industri tersebut belum melebihi beban pencemaran maksimum (BPMj) yang dihitung berdasarkan perkalian antara beban pencemaran sebenarnya (BPAj) dengan kapasitas produksi atau dengan kata lain $BPAj < BPMj$. Hal ini berarti bahwa walaupun baku mutu air limbah industri A tidak memenuhi baku mutu tetapi jika dilihat dari sudut pandang kapasitas produksi beban pencemaran yang dibuang masih dibawah beban pencemaran maksimum. Meskipun demikian beban pencemaran yang masuk ke badan air penerima akan semakin meningkat karena effluent air limbah ini dibuang secara kontinu setiap hari (Sahubawa, 2008). Dampak dan pengaruh dari beban pencemaran ini dapat diketahui dari hasil pengujian kualitas air sungai yang menjadi penerima air limbah.

4.2 Kualitas Air Sungai Diwak

Pencemaran air diindikasikan dengan turunnya kualitas air sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak dapat berfungsi sesuai peruntukannya. Yang dimaksud dengan tingkat tertentu tersebut adalah baku mutu air yang ditetapkan dan berfungsi sebagai tolak ukur untuk menentukan telah terjadinya pencemaran air dan sebagai arahan tentang tingkat kualitas air yang akan dicapai dalam upaya pengendalian pencemaran air. Sebagai bahan perbandingan, pengambilan sampel dilakukan dua kali yaitu pada Bulan Mei (akhir musim penghujan) dan Juli (musim kemarau).

Sungai Diwak merupakan sungai yang belum ditentukan jenis kelas sungainya. Menurut PP 82 Tahun 2001, untuk sungai / badan air yang belum ditetapkan peruntukannya berlaku Kriteria Mutu Air Kelas II, yaitu air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/ sarana kegiatan rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Dari hasil pengamatan di lokasi penelitian, pemanfaatan utama air Sungai Diwak oleh masyarakat sekitar adalah untuk pengairan sawah baik irigasi teknis maupun non teknis (Gambar 10).



Gambar 10. Pemanfaatan air Sungai Diwak untuk pertanian

Data hasil pengukuran kualitas air Sungai Diwak ditunjukkan pada Tabel 19 dan 20, sedangkan baku mutu kriteria mutu air (Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001) tersaji pada Tabel 21.

Tabel. 19. Hasil Analisa Kualitas Air Sungai Diwak Mei 2011

| No | Parameter | Satuan | Hasil pengujian | | | |
|----|---------------------------|--------|-----------------|---------|-------|---------|
| | | | ST1 | ST2 | ST3 | ST4 |
| 1. | BOD ₅ | mg/L | 3,648 | 5,453 | 19,97 | 7,219 |
| 2. | COD | mg/L | 22,07 | 50,57*) | 25,88 | 48,71 |
| 3. | DO | mg/L | 8,03 | 5,84 | 5,49 | 7,6 |
| 4. | TSS | mg/L | 52 | 70 | 19 | 42 |
| 5. | Suhu | °C | 25 | 26 | 26 | 25 |
| 5. | .pH | - | 8 | 7,7 | 7,6 | 8,2 |
| | Debit (m ³ /s) | | 0,242 | 0,265 | 0,353 | 1,057*) |

Sumber : Data Primer 2011,*)perlu disesuaikan

Tabel. 20. Hasil Analisa Kualitas Air Sungai Diwak Juli 2011

| No | Parameter | Satuan | Hasil pengujian | | | |
|----|---------------------------|--------|-----------------|-------|-------|-------|
| | | | ST1 | ST2 | ST3 | ST4 |
| 1. | BOD ₅ | mg/L | 27 | 49*) | 29 | 75 |
| 2. | COD | mg/L | 42 | 83*) | 42 | 125 |
| 3. | DO | mg/L | 6,24 | 7,2 | 6,8 | 0,0*) |
| 4. | TSS | mg/L | 34 | 25 | 18 | 37 |
| 5. | suhu | °C | 27 | 26 | 27 | 27 |
| 6. | .pH | - | 6,5 | 6,5 | 7,0 | 8,2 |
| | Debit (m ³ /s) | | 0,011 | 0,025 | 0,046 | 0,071 |

Sumber : Data Primer 2011,*)perlu disesuaikan

Tabel. 21. Kriteria Mutu Air Sungai Berdasarkan Kelas

| No | Parameter | Satuan | Baku Mutu*) | | | |
|----|------------------|--------|-------------|----------|-----------|----------|
| | | | Kelas I | Kelas II | Kelas III | Kelas IV |
| 1. | BOD ₅ | mg/L | 2 | 3 | 6 | 12 |
| 2. | COD | mg/L | 10 | 25 | 50 | 100 |
| 3. | DO | mg/L | 6 | 4 | 3 | 0 |
| 4. | TSS | mg/L | 50 | 50 | 400 | 400 |
| 5. | Suhu | °C | Dev.3 | Dev.3 | Dev.3 | Dev.5 |
| 6. | .pH | - | 6-9 | | | |

*) PP No.82 Tahun 2001

Secara umum pada musim kemarau (Bulan Juli) terjadi peningkatan nilai BOD dan COD, serta penurunan kandungan DO jika dibandingkan dengan kualitas air pada musim penghujan (Bulan Mei). Artinya kualitas air sungai pada musim penghujan lebih baik. Sungai Diwak termasuk jenis Sungai Periodik, yaitu sungai yang pada waktu musim penghujan debit airnya besar, sedangkan pada musim kemarau debitnya kecil. Perbedaan debit air sungai yang cukup besar terlihat pada Tabel 22.

Tabel 22. Perbedaan Debit air Sungai Diwak pada Bulan Mei dan Juli 2011

| No | Stasiun pengamatan | Debit (m ³ /s) | | Penurunan debit (%) |
|----|--------------------|---------------------------|-----------|---------------------|
| | | Mei 2011 | Juli 2011 | |
| 1 | ST1 | 0,242 | 0,011 | 95,4 |
| 2 | ST2 | 0,265 | 0,025 | 90,6 |
| 3 | ST3 | 0,353 | 0,046 | 87,0 |
| 4 | ST4 | 1,057*) | 0,071 | 93,3 |

Sumber :Data Primer 2011, *)perlu disesuaikan

Pada musim penghujan terjadi peningkatan debit air sungai yang menyebabkan pengenceran oleh air hujan. Sebaliknya pada musim kemarau debit air jauh berkurang sehingga berpengaruh pada konsentrasi zat - zat yang ada di dalam aliran airnya. Lonjakan debit pada Bulan Mei pada ST4 disebabkan oleh kondisi cuaca hujan saat pengambilan sampel sehingga kemungkinan adanya masuknya tambahan sumber air lain yang menyebabkan pengenceran sungai.

Jika kualitas air Sungai Diwak pada keempat stasiun pengamatan dikaitkan dengan kriteria Mutu Air berdasarkan kelas sesuai PP No. 82 Tahun 2001, maka untuk musim penghujan parameter suhu, DO dan pH memenuhi semua kriteria kelas air. Parameter BOD tidak memenuhi kriteria kelas II. Pada Titik ST1 dan ST2, konsentrasi BOD masih memenuhi baku mutu Kelas III, ST4 memenuhi kriteria Kelas IV dan ST3 tidak memenuhi semua kriteria kelas air. Sedangkan untuk parameter COD memenuhi baku mutu Kelas II kecuali pada titik ST2. Untuk parameter TSS pada ST1 dan ST2 memenuhi kriteria kelas I, sedangkan pada ST3 dan ST4 memenuhi kriteria Kelas III.

Pada musim kemarau, nilai parameter BOD pada semua titik pengamatan tidak memenuhi semua kriteria kelas air. Untuk nilai parameter COD pada titik ST1 dan ST3 memenuhi kriteria kelas II, sedangkan ST2 hanya memenuhi kriteria Kelas IV dan ST4 tidak memenuhi kriteria semua kelas. Untuk parameter suhu, TSS dan pH memenuhi semua kelas.

Kondisi kualitas air untuk parameter pada bagian hulu (ST1) untuk musim kemarau dan hujan ternyata sudah melebihi baku mutu air kelas II. Hal ini menunjukkan bahwa sebelum dipengaruhi oleh air limbah dari kegiatan industri, aktivitas pada bagian hulu telah menyebabkan penurunan kualitas air sungai.

Jika dibandingkan antara kualitas air Sungai Diwak sebelum dan setelah dipengaruhi oleh air limbah industri (Tabel. 23) maka terlihat

adanya kenaikan konsentrasi parameter BOD dan COD, serta penurunan konsentrasi DO. Begitu juga yang terjadi pada ST4 di musim kemarau (Juli 2011) terlihat peningkatan konsentrasi BOD dan COD serta penurunan DO jika dibandingkan musim kemarau periode Agustus 2009.

Tabel. 23. Perbedaan Kualitas Air Sungai Diwak pada ST1 dan ST4

| No | Parameter | Satuan | Agustus 2009* | | Mei 2011** | | Juli 2011** | |
|----|------------------|--------|---------------|-------|------------|-------|-------------|-----|
| | | | ST1 | ST4 | ST1 | ST4 | ST1 | ST4 |
| 1. | BOD ₅ | mg/L | - | 21,31 | 3,648 | 7,219 | 27 | 75 |
| 2. | COD | mg/L | - | 39,31 | 22,07 | 48,71 | 42 | 125 |
| 3. | DO | mg/L | - | 3,38 | 8,03 | 7,6 | 6,24 | 0,0 |
| 4. | TSS | mg/L | - | 26 | 52 | 42 | 34 | 37 |
| 5. | Suhu | °C | - | 30 | 25 | 25 | 27 | 27 |
| 6. | pH | - | - | 7,69 | 8 | 8,2 | 6,5 | 8,2 |

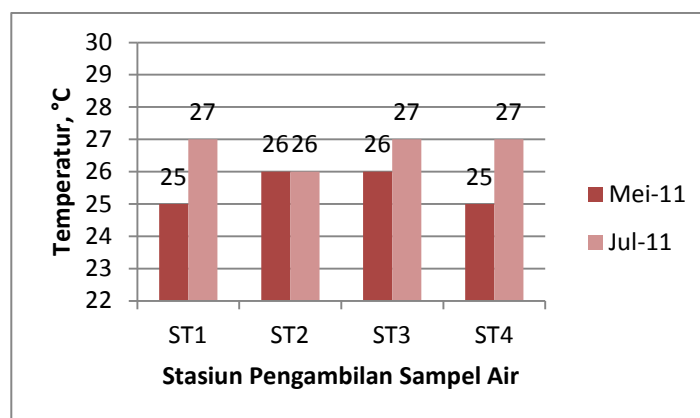
Sumber : *) Badan Lingkungan Hidup Kab. Semarang & **) Data Primer

Secara umum beban pencemaran dari buangan air limbah industri menyebabkan peningkatan konsentrasi zat pencemar khususnya nilai BOD dan COD. Pada titik ST2 peningkatan konsentrasi BOD dan COD pada air Sungai Diwak adalah wajar mengingat nilai BOD dan COD effluent air limbah dari industri A memang melebihi baku mutu yang disyaratkan. Namun ternyata perubahan nilai BOD dan COD yang cukup signifikan justru terjadi pada ST4 dimana effluent air limbah dari industri C sudah memenuhi baku mutu, atau dengan kata lain IPAL yang dimiliki industri C mampu mengolah air limbah sesuai persyaratan baku mutu sehingga seharusnya tidak menyebabkan peningkatan konsentrasi zat pencemar yang signifikan pada Sungai Diwak.

4.2.1 Parameter Fisika

4.2.1.1 Temperatur air Sungai Diwak

Temperatur merupakan parameter fisik yang penting dalam badan air karena berpengaruh terhadap reaksi kimia dan laju reaksi, kehidupan akuatik dan kesesuaian penggunaan air untuk peruntukan tertentu (Metcalf and Eddy, 1979). Peningkatan suhu menyebabkan peningkatan viskositas, reaksi kimia, evaporasi dan volatilisasi. Selain itu juga menyebabkan penurunan kelarutan gas dalam air serta peningkatan kecepatan metabolisme dan respirasi organisme air (Effendi, 2003). Peningkatan temperatur menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut yang digunakan dalam proses dekomposisi bahan – bahn organik oleh mikroba.



Sumber: Data Primer 2011

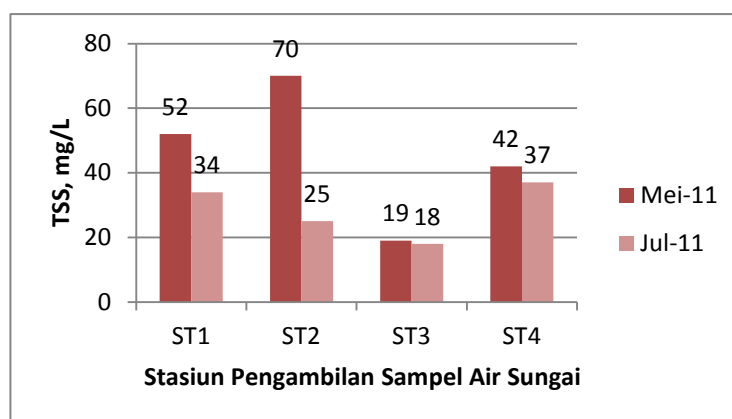
Gambar 11. Temperatur Air Sungai Diwak

Berdasarkan Gambar 11., terlihat bahwa temperatur air Sungai Diwak berada pada kisaran 25 - 27°C. Jika dilihat dari temperatur air limbah yang masuk ke badan air adalah antara 28 – 29°C, maka temperatur air limbah industri tidak banyak berpengaruh terhadap temperatur air sungai. Kondisi ini sesuai dengan kondisi

optimum bagi pertumbuhan fitoplankton di perairan yaitu antara 20 - 30°C (Effendi, 2003). Menurut Metcalf and Eddy (1979), temperatur optimum untuk aktivitas bakteri pada proses dekomposisi adalah antara 25 - 35°C.

4.2.1.2 *Total Suspended Solid (TSS)*

TSS merupakan sifat fisik suatu perairan yang berkaitan dengan kekeruhan. Kandungan zat padat tersuspensi bervariasi pada keempat stasiun pengamatan. Konsentrasi TSS tertinggi terjadi pada ST2 pada musim penghujan (bulan Mei) yaitu 70 mg/L. Angka ini melebihi baku mutu kriteria air Kelas II sebesar 50 mg/L. Hal ini kemungkinan sebagai akibat dari kontribusi beban pencemaran dari air limbah oleh industri A sebesar 55 mg/L serta akibat lain seperti erosi tanah di sempadan sungai. Menurut Effendi (2003), TSS terdiri dari lumpur, pasir halus serta jasad renik yang terutama disebabkan oleh kikisan tanah yang terbawa ke badan air. Pada saat musim penghujan mudah terjadi erosi tanah dan membentuk lumpur sehingga meningkatkan konsentrasi TSS pada air sungai.



Sumber: Data Primer 2011

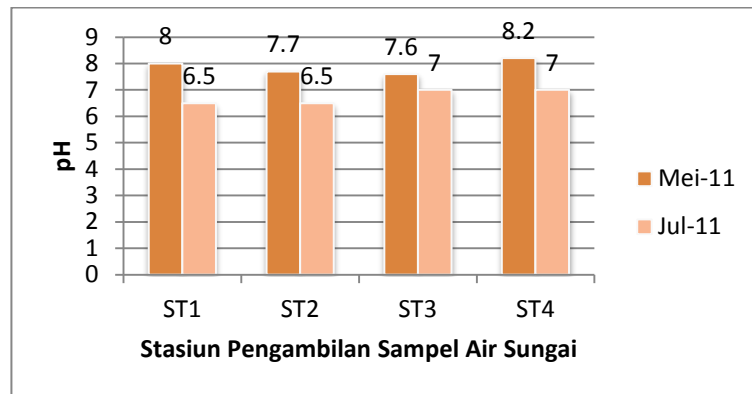
Gambar 12. Konsentrasi TSS Sungai Diwak

Kandungan TSS pada perairan alami tidak bersifat toksik tetapi jika berlebihan menyebabkan terjadinya kekeruhan dan menghalangi masuknya sinar matahari ke dalam perairan dan berpengaruh pada proses fotosintesis dalam air sungai (Effendi, 2003). Nilai TSS hasil pengukuran di stasiun pengamatan berkisar antara 18-70 mg/L. Nilai ini termasuk kriteria yang hanya sedikit berpengaruh terhadap kepentingan perikanan (25 – 80 mg/L). Suatu perairan akan memberi pengaruh tidak baik bagi perikanan jika nilai TSS lebih besar dari 400 mg/L (Alabaster & Lloyd, 1982).

4.2.2 Parameter Kimia

4.2.2.1 Derajat Keasaman (*pH*)

Derajat keasaman air sungai di 4 stasiun pengamatan pada musim penghujan (Bulan Mei 2011) berkisar antara 7,6- 8,2 sedangkan musim kemarau (Bulan Juli) antara 6,5 – 7 (Gambar 12.), sedangkan air limbah dari kegiatan industri yang masuk ke dalam badan air sungai memiliki pH antara 7,5-7,8 yang berarti masih dalam rentang baku mutu pH air limbah yang diijinkan yaitu antara 6 -9. Hal ini menunjukkan bahwa masuknya air limbah industri ke dalam aliran Sungai Diwak tidak banyak berpengaruh terhadap perubahan pH air sungai baik pada musim kemarau maupun penghujan. Derajat keasaman air Sungai Diwak ternyata masih memenuhi baku mutu kriteria kualitas air untuk semua kelas yang berada pada rentang nilai 6-9. Menurut Sastrawijaya (1991), air dengan pH 6,7 - 8,6 mendukung populasi ikan karena pertumbuhan dan perkembangbiakannya tidak terganggu. Sedangkan menurut Effendi (2003), sebagian besar biota akuatik sensitif terhadap perubahan pH dan menyukai nilai pH sekitar 7-8,5.

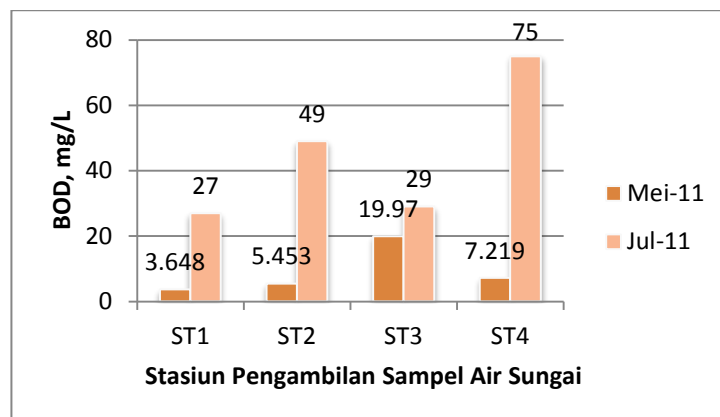


Sumber: Data Primer 2011

Gambar 13. Konsentrasi pH Sungai Diwak

4.2.2.2 Biochemical Oxygen Demand (BOD)

Bahan buangan organik cukup dominan dalam industri pengolahan makanan / minuman. Bahan organik tersusun dari senyawa karbon, hidrogen, oksigen dan ada pula yang mengandung senyawa nitrogen (Metcalf and Eddy, 1979). Bahan buangan organik umumnya berupa limbah yang dapat membusuk atau terdegradasi oleh mikroorganisme, sehingga bila dibuang ke perairan akan menaikkan BOD.



Sumber: Data Primer 2011

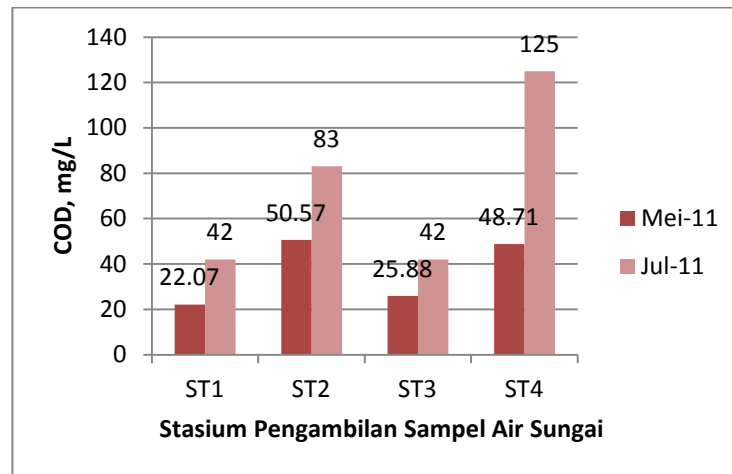
Gambar 14. Konsentrasi BOD Sungai Diwak

Berdasarkan Gambar 14, konsentrasi parameter BOD dari hulu ke hilir cenderung bertambah. Pada musim penghujan (Bulan Mei) konsentrasi BOD pada bagian hulu (ST1) sudah melebihi baku mutu peruntukan sungai Kelas II sebesar 3 mg/L tapi masih memenuhi untuk Kelas III dan IV. Nilai BOD tertinggi pada bulan Mei terjadi pada ST3 (19,97) dan pada Bulan Juli pada ST4 (75 mg/L). Tingginya nilai BOD pada titik ST4 (75 mg/L) jika dibandingkan dengan Bulan Mei (7,219 mg/L) disebabkan oleh tambahan beban pencemaran dari industri C dan kecilnya debit air pada musim kemarau (Bulan Juli).

Nilai BOD di ST4 pada musim kemarau Bulan Juli (75 mg/L) menunjukkan bahwa pada wilayah ini terjadi proses *decomposition zone* bahan – bahan pencemar melalui dekomposisi bahan organik dan oksidasi bahan anorganik yang membutuhkan oksigen terlarut (proses deoksigenasi). Jika kebutuhan oksigen ini tidak seimbang dengan penambahan oksigen dari udara maupun dari aktivitas fotosintesis tumbuhan air (fitoplankton), maka akan menyebabkan terjadinya penurunan kandungan oksigen terlarut dengan cepat dan sebaliknya akan meningkatkan BOD dengan cepat pula (Sjoo dan Mork, 2009 dalam Pratiwi, 2010).

4.2.2.3 Chemical Oxygen Demand (COD)

Secara umum nilai COD yang diperoleh dari hasil pengukuran lebih besar dari nilai BOD karena jumlah senyawa kimia yang bisa dioksidasi secara kimiawi lebih besar dibandingkan oksidasi secara biologis. Konsentrasi parameter COD pada musim kemarau (Bulan Juli) lebih tinggi dibandingkan pada akhir musim penghujan (Bulan Mei) karena pengaruh kecilnya debit air. Konsentrasi COD Sungai Diwak ditunjukkan dengan Gambar 15.



Sumber: Data Primer 2011

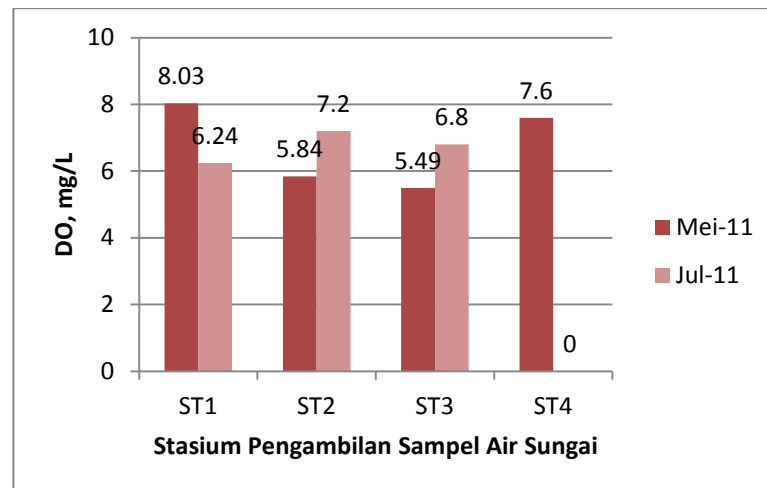
Gambar 15. Konsentrasi COD Sungai Diwak

Adanya aktivitas pembuangan air limbah industri menambah beban pencemaran COD pada Sungai Diwak. Hal ini terlihat dari kenaikan nilai COD pada ST2 akibat beban cemaran COD dari industri A sebesar 12,18 kg/ hari. Pada ST3 nilai COD turun karena tambahan aliran air dari air limbah industri B mengandung beban pencemar BOD yang lebih kecil. Kenaikan nilai COD pada ST4 dipengaruhi oleh tingginya nilai BOD pada titik tersebut yang mencapai 75 mg/L.

4.2.2.4 Oksigen Terlarut - *Dissolved Oxygen (DO)*

Oksigen terlarut (DO) memegang peranan penting sebagai indikator kualitas perairan, karena berperan dalam proses oksidasi dan reduksi bahan organik dan anorganik (Salmin, 2005). Menurut Effendi (2003), kadar oksigen terlarut tergantung pada proses pencampuran (mixing), pergerakan massa air (turbulensi), aktivitas fotosintesis dan respirasi serta limbah (effluent) yang masuk ke badan air. Semakin besar suhu dan ketinggian, serta makin

rendahnya tekanan atmosfer menyebabkan kadar oksigen terlarut pada suatu perairan semakin kecil.



Sumber: Data Primer 2011

Gambar 16. Konsentrasi DO Sungai Diwak

Kandungan Oksigen Terlarut (DO) umumnya cukup tinggi baik pada musim penghujan maupun kemarau. Pada Mei 2011 DO dari hulu ST1 hingga ST4 bervariasi antara 5,49-8,03 mg/L. Pada beberapa titik kadar DO memenuhi kriteria air Kelas I (6 mg/L) dan Kelas II (4 mg/L). Bahkan pada ST4 konsentrasi oksigen terlarut kembali naik menjadi 7,6 mg/L. Fluktuasi ini kemungkinan dipengaruhi oleh pola turbulensi air karena pada bulan Mei masih termasuk akhir musim penghujan dan pada ST4 kecepatan arus adalah terbesar yaitu mencapai 0,48 m/s sehingga menyebabkan proses difusi udara ke dalam air lebih mudah dan berpengaruh terhadap naiknya kadar oksigen terlarut pada ST4.

Untuk pengukuran Bulan Juli (musim kemarau) kadar DO pada ST 1 hingga 3 berfluktuasi namun masih memenuhi kriteria air kelas II. Kondisi berbeda terjadi pada titik ST4, dimana kadar DO turun drastis menjadi 0,00 mg/L sehingga hanya memenuhi baku

mutu kriteria air Kelas IV. Berkurangnya nilai DO secara tajam berkaitan dengan bertambahnya kandungan bahan organik dan anorganik pada sungai serta kondisi musim kemarau yang sedang berlangsung. Hal ini terlihat dari tingginya nilai BOD dan COD di ST4 pada musim kemarau Bulan Juli yang masing – masing mencapai 75 mg/L dan 125 mg/L. Pada wilayah ini terjadi proses *decomposition zone* bahan – bahan pencemar melalui dekomposisi bahan organik dan oksidasi bahan anorganik yang membutuhkan oksigen terlarut (proses deoksigenasi). Jika proses laju reaerasi lebih kecil dari laju deoksigenasi maka kadar oksigen terlarut akan cepat berkurang hingga mencapai nol atau disebut kondisi anaerob (Effendi, 2003). Meskipun berlangsung lebih lambat, namun proses dekomposisi juga dapat berlangsung pada kondisi anaerob oleh bakteri anaerob. Wilayah *decomposition zone* ini ditandai dengan tingginya populasi bakteri dan tingkat kandungan oksigen terlarut yang rendah. Pertumbuhan bakteri pengurai ini juga didukung oleh kondisi pH air Sungai Diwak yang berada pada kondisi netral dan alkalis dimana bakteri dapat tumbuh dengan baik.

Ikan dan organisme akuatik lainnya membutuhkan oksigen terlarut dalam jumlah cukup untuk proses respirasi, yaitu tidak kurang dari 5 mg/L. Jika kurang dari itu akan menyebabkan pengaruh gangguan pertumbuhan bahkan kematian bagi ikan (Swingle dalam Boyd, 1988)

Dari uraian di atas terlihat bahwa secara umum, kondisi kualitas air Sungai Diwak tidak memenuhi baku mutu kriteria air Kelas II karena ada parameter BOD yang tidak memenuhi kadar maksimal yang diperbolehkan. Hal ini berkaitan dengan daya tampung beban zat pencemar yang dapat ditanggung keberadaannya oleh Sungai Diwak sehingga dapat tetap berfungsi sesuai peruntukannya.

4.2.3 Perkiraan Daya Tampung Beban Pencemaran Air

4.2.3.1 Metode Neraca Massa

Metode perhitungan ini daya tampung beban pencemaran dihitung menggunakan neraca massa dari komponen – komponen sumber pencemar kemudian dibandingkan dengan baku mutu beban pencemaran sesuai kelas air. Metode ini hanya tepat digunakan untuk komponen – komponen yang tidak mengalami perubahan (tidak terdegradasi, tidak hilang karena pengendapan, penguapan atau aktivitas lainnya). Penggunaan neraca massa untuk komponen lain seperti DO dan BOD hanya merupakan pendekatan saja.

Pada metode ini diasumsikan sebagai sebuah sistem dengan hanya memperhitungkan kualitas air pada masing – masing titik percampuran antara air sungai dengan air limbah industri. Sebagai contoh : untuk kondisi awal (ST1) terdapat effluent air limbah industri A (OT1) sebagai input beban pencemaran. Dari hasil perhitungan neraca massa diperoleh Titik Percampuran 1 (ST1'') sebagai perubahan kualitas air sungai setelah bercampur dengan air limbah. Demikian seterusnya hingga diperoleh nilai ST2'' dan ST3'' untuk bulan Mei dan Juli. Hasil perhitungan ini ditunjukkan pada Tabel. 24 dan 25.

Tabel. 24. Perhitungan Neraca Massa pada Bulan Mei 2011

| Aliran | Debit (m ³ /s) | Satuan | BOD | COD | TSS | |
|--------|---------------------------|--------|-----------|-------|------|-----|
| ST1'' | 0,24237 | mg/L | 3,92 | 22,62 | 52 | |
| ST2'' | 0,35522 | mg/L | 5,45 | 50,46 | 69,7 | |
| ST3'' | 0,26526 | mg/L | 19,95 | 25,88 | 19 | |
| No. | Parameter | satuan | Kelas Air | | | |
| | | | I | II | III | IV |
| 1. | BOD | mg/L | 2 | 3 | 6 | 12 |
| 2. | COD | mg/L | 10 | 25 | 50 | 100 |
| 3. | TSS | mg/L | 50 | 50 | 400 | 400 |

Tabel. 25. Perhitungan Neraca Massa pada Bulan Juli 2011

| Aliran | Debit (m ³ /s) | Satuan | BOD | COD | TSS | |
|--------|---------------------------|--------|-----------|-------|------|-----|
| ST1" | 0,00737 | mg/L | 34,75 | 50,91 | 19,9 | |
| ST2" | 0,02722 | mg/L | 45,44 | 78,96 | 24,7 | |
| ST3" | 0,04626 | mg/L | 28,85 | 41,91 | 18,0 | |
| No. | Parameter | satuan | Kelas Air | | | |
| | | | I | II | III | IV |
| 1. | BOD | mg/L | 2 | 3 | 6 | 12 |
| 2. | COD | mg/L | 10 | 25 | 50 | 100 |
| 3. | TSS | mg/L | 50 | 50 | 400 | 400 |

Dari hasil perhitungan Daya Tampung Beban Pencemaran Metode Neraca Massa tersebut di atas terlihat bahwa penambahan beban pencemaran dari air limbah industri menyebabkan nilai beban BOD dan COD pada sungai meningkat. Pada musim penghujan (bulan Mei), nilai BOD titik ST1" dan ST2" Parameter BOD sebesar 3,92 mg/L dan 5,45 mg/L telah melewati baku mutu beban pencemaran Kelas II (3 mg/L) tetapi masih memenuhi kriteria Kelas III (6 mg/L). Sedangkan pada ST3" tidak memenuhi semua kriteria kelas air. Hal ini berarti Sungai Diwak tidak mempunyai daya tampung lagi untuk penambahan beban parameter BOD pada kriteria kelas I dan II. Untuk parameter COD pada ST1" sebesar 22,62 mg/L hari masih memenuhi kriteria Kelas II, sedangkan pada ST2" dan ST3" sudah melebihi baku mutu daya tampung beban pencemaran kelas II.

Pada pengukuran bulan Juli 2011, perhitungan neraca massa untuk nilai parameter BOD sudah melampaui kriteria daya tampung semua kelas air. Untuk parameter COD pada ST3" memenuhi kriteria air Kelas III, sedangkan untuk ST1" dan ST2" hanya memenuhi kriteria air kelas IV.

4.2.3.2 Metode *Streeter-Phelps*

Kemampuan Sungai Diwak dalam menerima masukan beban pencemaran dari kegiatan industri dapat diketahui dari daya tampung beban pencemarannya. Daya tampung beban pencemaran adalah kemampuan air pada suatu sumber air, untuk menerima masukan beban pencemaran tanpa mengakibatkan air tersebut menjadi cemar. Metode penentuan daya tampung beban pencemaran ini berdasarkan Kep-MENLH/110/2003.

Pada Metode *Streeter-Phelps* menggunakan nilai DO dan BOD, yaitu sebagai salah satu indikator dalam menentukan kualitas perairan. Pemodelan Streeter dan Phelps hanya terbatas pada dua fenomena yaitu proses pengurangan oksigen terlarut (deoksigenasi) akibat aktivitas bakteri dalam mendegradasikan bahan organik yang ada dalam air dan proses peningkatan oksigen terlarut (reaerasi) yang disebabkan turbulensi yang terjadi pada aliran sungai. Data yang digunakan untuk perhitungan model ini adalah konsentrasi BOD, DO, suhu, debit air limbah dan air sungai serta kecepatan arus sungai.

Semua sungai mempunyai mekanisme alami untuk memperbaiki kualitas air yang tercemar untuk kembali menjadi bersih. Mekanismenya berkaitan dengan proses – proses kimia, fisik dan biologis. Konsentrasi DO menjadi salah satu indikator dari kemampuan alami sungai. Metode ini dapat digunakan untuk pendugaan daya pulih (*self purification*) dari suatu sungai, yaitu tingkat kemampuan suatu aliran sungai untuk membersihkan kembali alirannya, yang dinyatakan dalam *critical point* (tc) atau jarak tempuh aliran (xc). Penentuan Daya Tampung Beban Pencemaran Metode *Streeter Phelps* menggunakan dasar Defisit oksigen kritis (DC), yaitu kondisi defisit DO terendah yang dicapai akibat beban yang diberikan pada aliran tersebut.

Dalam penelitian ini, terdapat 3 titik buangan air limbah industri (*multiple sources*) yang jaraknya berdekatan sehingga untuk mengetahui

fenomena daya pilih dipilih titik percampuran 3 sebagai L_0 campuran , yaitu BOD ultimat pada $t = 0$. Hal ini dengan asumsi setelah titik tersebut tidak lagi terdapat sumber pencemar lain. Gambaran Daya Tampung Beban Pencemaran dan Daya Pulih Sungai Diwak dengan Metode *Streeter Phelps* disajikan pada Tabel 26.

Tabel. 26. Analisis Parameter Daya Tampung dan Daya Pulih Bulan Mei dan Juli 2011

| Titik Per-campuran | BOD _c | L ₀ | T _c | DO jenuh Pada T _c | t _c | x _c | D _c | DO pada t _c | BOD maks |
|--------------------|------------------|----------------|----------------|------------------------------|----------------|----------------|----------------|------------------------|----------|
| Bulan Mei 2011 | | | | | | | | | |
| 3 | 20,03 | 25,78 | 26,02 | 8,01 | 5,26 | 213,6 | 2,50 | 5,14 | 21,38 |
| Bulan Juli 2011 | | | | | | | | | |
| 3 | 28,94 | 37,25 | 27,07 | 7,81 | 5,28 | 109,5 | 4,57 | 3,24 | 17,30 |

Sumber : Analisis data, 2011

Keterangan :

- L₀ = BOD ultimat pada titik percampuran $t=0$, (mg/L)
- BOD_c = BOD pada titik percampuran air sungai dan air limbah (mg/L)
- T_c = suhu pada titik percampuran (°C)
- DO jenuh = kelarutan jenuh Oksigen dalam air padaberbagai temperatur pada tekanan udara 760 mmHg (mg/L)
- t_c = *critical point*, waktu kritis saat DO air sungai mencapai titik terendah, (hari⁻¹)
- x_c = jarak tempuh hingga terjadi *critical point*, km
- D_c = defisit Oksigen kritis, (mg/L)
- DO pada t_c = konsentrasi DO pada t_c = DO jenuh – D_c (mg/L)
- BOD maks = BOD maksimum pada air sungai sebelum terjadi defisit Oksigen (mg/L)

Pada kasus musim penghujan (Bulan Mei), berdasarkan nilai BOD pada titik percampuran 3 yaitu pada pertemuan antara aliran Sungai Diwak dengan outlet limbah industri diperoleh hasil bahwa beban BOD dapat diuraikan oleh kemampuan alami sungai dengan DO yang ada. Konsentrasi oksigen terlarut (DO) mencapai titik kritis (t_c) setelah 5,26 hari dengan jarak 213,6 km dari titik percampuran air limbah dengan air sungai, dengan asumsi kecepatan aliran dan konsentrasi DO tetap. Pada titik kritis (t_c) ini diperoleh hasil Defisit Oksigen kritis (D_c) 2,50 mg/L

sehingga pada titik ini masih terdapat DO sebesar 5,14 mg/L. Kandungan Oksigen ini membuat Sungai Diwak masih mempunyai kemampuan alami untuk menerima beban pencemaran BOD_c sebesar 20,03 mg/L. Beban pencemaran ini belum melampaui daya tampung alami Sungai Diwak (BOD maksimum) sebesar 21,38 mg/L. Kecilnya debit aliran air limbah jika dibandingkan dengan volume air sungai pada akhir musim penghujan menyebabkan beban pencemaran untuk nilai BOD dari sumber air limbah industri sebesar 6,9 kg/hari masih bisa diterima oleh daya tampung alami Sungai Diwak.

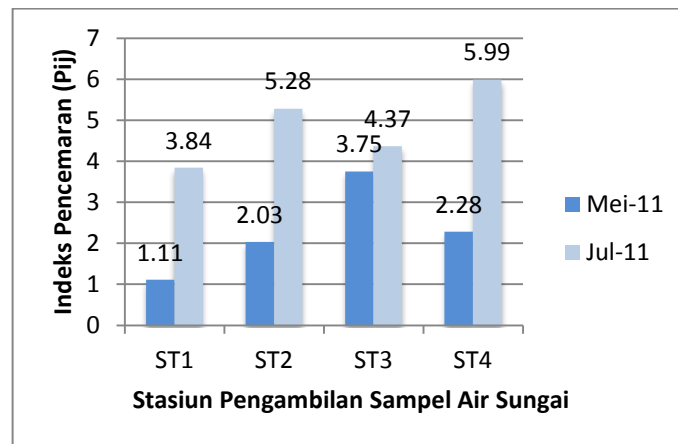
Untuk kasus bulan Juli, diperoleh Defisit oksigen pada t_c (DO pada t_c) pada titik percampuran antara air limbah dan air sungai diperoleh nilai BOD_c sebesar 28,94 mg/L. Tingginya konsentrasi BOD pada aliran sungai sudah melebihi BOD maksimum sungai (17,30 mg/L) sehingga menyebabkan daya tampung sungai sudah terlampaui.

Dari hasil perhitungan daya tampung dan daya pulih beban pencemaran baik dengan Metode *Streeter Phelps*, terlihat bahwa hasil yang diperoleh berbeda untuk musim penghujan maupun musim kemarau. Daya tampung dan daya pulih beban pencemaran pada musim penghujan lebih besar daripada saat musim kemarau.

4.2.4 Status Mutu Air Sungai dengan Metode Indek Pencemaran (IP)

Status mutu air adalah tingkat kondisi mutu air yang menunjukkan kondisi cemar atau kondisi baik pada suatu sumber air yang diukur dan atau diuji berdasarkan parameter – parameter tertentu dan metode tertentu dalam waktu tertentu dengan membandingkan dengan baku mutu air yang ditetapkan. Dalam penghitungan status mutu air ini hanya menggunakan parameter BOD, COD, pH dan DO dengan baku mutu status mutu air Sungai Diwak menggunakan kriteria peruntukan air Kelas II. Hasil perhitungan Nilai Indeks Pencemaran sesuai Kep-MENLH N0.115 tahun

2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air tersaji pada Gambar 17. dan Tabel 27.



Gambar 17. Indeks Pencemaran Sungai Diwak Kriteria Air Kelas II

Tabel 27. Status Mutu Air Sungai Diwak Bagi Kriteria Air Sungai Kelas II^{*)}

| Waktu | No | Lokasi | Indek Pencemaran | Status Mutu Air |
|-----------|----|--------|------------------|-----------------|
| Mei 2011 | 1. | ST1 | 1,11 | Tercemar Ringan |
| | 2. | ST2 | 2,03 | Tercemar Ringan |
| | 3. | ST3 | 3,75 | Tercemar Ringan |
| | 4. | ST4 | 2,28 | Tercemar Ringan |
| Juli 2011 | 1. | ST1 | 3,84 | Tercemar Ringan |
| | 2. | ST2 | 5,28 | Tercemar Sedang |
| | 3. | ST3 | 4,37 | Tercemar Ringan |
| | 4. | ST4 | 5,99 | Tercemar Sedang |

Sumber : Analisis Data 2011; ^{*)} PP Nomor 82 tahun 2001

Dari hasil analisa Status Mutu Air pada Tabel 25, kondisi kualitas air Sungai Diwak pada Bulan Mei (musim penghujan) dapat dikategorikan sebagai tercemar ringan dengan nilai Indeks Pencemaran antara 1 – 5. Meskipun nilai IP meningkat tetapi masih termasuk dalam kategori tercemar ringan. Tidak signifikannya perubahan tingkat pencemaran disebabkan karena dalam perhitungan Indek Pencemaran dilakukan dengan

memperhatikan nilai parameter lain selain BOD, yaitu COD, pH dan DO dengan rumus :

$$P_{ij} = \sqrt{\frac{(C_i / L_{ij})^2_M + (C_i / L_{ij})^2_R}{2}}$$

Dengan :

L_{ij} = Konsentrasi parameter kualitas air yang dicantumkan dalam baku mutu peruntukan air (J);

C_i = Konsentrasi parameter kualitas air dilapangan;

P_{ij} = Indeks pencemaran bagi peruntukan (J);

$(C_i/L_{ij})_R$ = nilai, C_i/L_{ij} rata-rata;

$(C_i/L_{ij})_M$ = Nilai, C_i/L_{ij} maksimum

Jadi meskipun nilai BOD dan COD melebihi baku mutu peruntukan air Kelas II namun nilai untuk parameter DO dan pH cukup baik sehingga kelebihan dari baku mutu tersebut tidak cukup signifikan dalam merubah tingkat pencemaran dari kondisi semula hulu (ST1) yang termasuk kategori tercemar ringan. Menurut Salmin (2005), suatu perairan yang tingkat pencemarannya rendah mempunyai kadar oksigen terlarut (DO) > 5 ppm dan kadar Oksigen Biokimia (BOD) berkisar 1 – 10 ppm. Hal ini sesuai dengan kondisi DO air Sungai Diwak yang rata – rata > 5 ppm atau 5 mg/l dengan asumsi berat jenis air limbah dan air sungai sama dengan berat jenis fresh water ($\rho = 1 \text{ mg/l}$).

Peningkatan Status Mutu Air dari tercemar ringan (nilai P_{ij} 1,0 – 5,0) menjadi tercemar berat (nilai P_{ij} 5,0 – 10,0) terjadi pada Bulan Juli di titik ST2 dan ST4. Indeks pencemaran tertinggi terjadi pada ST4 Bulan Juli sebesar 6,14. Tingginya nilai P_{ij} didominasi oleh besarnya nilai BOD dan COD pada kedua titik. Dari hasil pengukuran pada ST2, beban pencemaran berupa nilai BOD dari Industri A sebesar 181,44 mg/L menaikkan nilai BOD pada air sungai menjadi 48 mg/L, sedangkan beban COD 380,5 mg/L menyebabkan nilai COD yang terukur pada ST2 sebesar 83 mg/L. Untuk nilai pH dan DO masih memenuhi kriteria baku mutu air Kelas II. Demikian

juga pada titik ST4, dari 4 parameter yang dianalisa hanya nilai pH yang memenuhi semua kriteria kelas air, sedangkan nilai BOD (75 mg/L) dan COD (125 mg/L) bahkan tidak memenuhi semua kriteria kelas air, sehingga berpengaruh terhadap tingginya hasil perhitungan Indeks Pencemaran.

Tabel 28. Status Mutu Air Sungai Diwak Bagi Kriteria Air Sungai Kelas I,III dan IV^{*)}

| | Titik | Kelas I | | Kelas III | | Kelas IV | |
|-----------|-------|---------|-----------------|-----------|-----------------|----------|-----------------|
| | | IP | Status Mutu Air | IP | Status Mutu Air | IP | Status Mutu Air |
| Mei 2011 | ST1 | 1,88 | Tercemar ringan | 0,48 | Kondisi baik | 0,27 | Kondisi baik |
| | ST2 | 2,64 | Tercemar ringan | 0,79 | Kondisi baik | 0,4 | Kondisi baik |
| | ST3 | 4,46 | Tercemar ringan | 2,63 | Tercemar ringan | 1,53 | Tercemar ringan |
| | ST4 | 3,00 | Tercemar ringan | 1,06 | Tercemar ringan | 0,49 | Kondisi baik |
| Juli 2011 | ST1 | 5,01 | Tercemar sedang | 3,13 | Tercemar ringan | 2,03 | Tercemar Ringan |
| | ST2 | 6,00 | Tercemar sedang | 4,11 | Tercemar ringan | 2,98 | Tercemar ringan |
| | ST3 | 5,09 | Tercemar sedang | 3,23 | Tercemar ringan | 2,13 | Tercemar Ringan |
| | ST4 | 6,75 | Tercemar sedang | 4,82 | Tercemar ringan | 3,65 | Tercemar ringan |

Sumber : Analisis Data 2011; ^{*)} PP Nomor 82 tahun 2001

Jika dilihat dari Tabel 28, status mutu air Sungai Diwak untuk kriteria air Kelas I pada musim kemarau adalah tercemar sedang untuk semua titik. Sedangkan jika disesuaikan kriteria air kelas III dan IV bahkan didapatkan kondisi baik di Titik ST1 dan ST2 pada musim pengujan. Hal ini dikarenakan baku mutu untuk air Kelas I lebih ketat daripada air Kelas II, III dan IV. Air Kelas I adalah air yang digunakan untuk air baku air minum atau kegunaan lain yang mempersyaratkan baku mutu yang sama, sedangkan air Kelas III untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi tanaman dan air Kelas IV adalah air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanian sehingga persyaratan baku mutunya paling longgar.

4.3 Pengendalian Pencemaran Air Sungai Diwak di Kabupaten Semarang

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 01 Tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air disebutkan definisi pengendalian pencemaran air adalah upaya pencegahan dan penanggulangan pencemaran air serta pemulihan kualitas air untuk menjamin kualitas air agar sesuai dengan baku mutu air. Ruang lingkup yang diatur dalam Peraturan Menteri ini meliputi 7 hal yaitu : inventarisasi dan identifikasi sumber pencemar air; penetapan daya tampung beban pencemaran air; penetapan baku mutu air limbah; penetapan kebijakan pengendalian pencemaran air; perizinan; pemantauan kualitas air; pembinaan dan pengawasan; dan penyediaan informasi.

Berdasarkan hasil pengamatan, hasil pengujian kualitas air sungai dan air limbah industri, wawancara dan studi pustaka maka dibuat deskripsi aspek dan indikator pengendalian pencemaran air Sungai Diwak seperti disajikan dalam Tabel 29.

Tabel 29. Analisis Upaya Pengendalian pencemaran Air di Sungai Diwak Kabupaten Semarang

| No (1) | Aspek Pengendalian Pencemaran Air Sungai (2) | Indikator (3) |
|-----------|--|--|
| 1. | Kondisi Sungai Diwak | <ol style="list-style-type: none"> 1. Secara umum kualitas air Sungai Diwak tidak memenuhi kriteria air Kelas II karena pada semua titik dan musim parameter BOD melebihi baku mutu. 2. Status mutu air sungai tercemar ringan-sedang. 3. Pada titik tertentu di musim kemarau, daya tampung sungai Diwak untuk parameter BOD sudah terlampaui. 4. Pada daerah hulu sebelum dipengaruhi air limbah industri, ada parameter yang melebihi baku mutu air Kelas II. |

Tabel 29. Analisis Upaya Pengendalian pencemaran Air di Sungai Diwak Kabupaten Semarang (*Lanjutan*)

| (1) | (2) | (3) |
|-----|--------------------|--|
| 2. | Peran pemerintah : | <ol style="list-style-type: none"> 1. Adanya peraturan mengenai baku mutu dan perijinan pembuangan limbah cair. 2. Adanya upaya pengawasan kegiatan industri. 3. Adanya kegiatan pemantauan kualitas air sungai meskipun belum secara periodik. 4. Adanya pusat pengaduan kasus pencemaran pada instansi lingkungan hidup. 5. Koordinasi antar instansi dalam pengendalian pencemaran air sungai masih kurang. 6. Informasi dan data penunjang yang berkaitan dengan Sungai Diwak dan pengendalian pencemarannya masih kurang lengkap. 7. Pemberian ijin industri sudah berdasarkan RTRW tapi belum berdasarkan daya tampung dan daya dukung sungai |
| 3. | Peran industri : | <ol style="list-style-type: none"> 1. Ketiga industri sudah memiliki instalasi IPAL dan ijin pembuangan limbah cair 2. Ketiga industri sudah memiliki dokumen pengelolaan lingkungan. 3. Ada industri yang air limbahnya masih belum memenuhi baku mutu. 4. Ada industri yang mulai mengikuti program Proper |
| 4. | Peran masyarakat | <ol style="list-style-type: none"> 1. Adanya Forum Peduli Lingkungan di tingkat kecamatan 2. Masyarakat masih membuang sampah di Sungai Diwak. |

Dari deskripsi tersebut di atas kemudian dilakukan analisis SWOT terhadap masing – masing indikator seperti tersaji pada Tabel 30.

Tabel 30. Analisis SWOT Berdasarkan Penilaian Masing – masing Indikator Pengendalian pencemaran Air Sungai Diwak

| Kekuatan – <i>Strenght</i> (S) | Bobot | Nilai | Total |
|---|--------------|--------------|--------------|
| 1. Adanya konservasi pada daerah tangkapan air/hulu Sungai diwak | 0,33 | 2 | 0,67 |
| 2. Pemanfaatan sungai untuk pengairan tanaman, sehingga persyaratan baku mutu lebih longgar | 0,33 | 2 | 0,67 |
| 3. Adanya fasilitas IPAL pada ketiga industri | 0,33 | 2 | 0,67 |
| | 1,00 | 6 | 2,00 |
| Kelemahan – <i>Weakness</i> (W) | Bobot | Nilai | Total |
| 1. Kualitas air tidak memenuhi kriteria air kelas II | 0,25 | 3 | 0,75 |
| 2. Pada daerah hulu sebelum dipengaruhi air limbah industri, ada parameter yang melebihi baku mutu air Kelas II | 0,17 | 2 | 0,33 |
| 3. Pada musim kemarau, daya tampung sungai Diwak untuk parameter BOD sudah terlampaui | 0,17 | 2 | 0,33 |
| 4. Status mutu air sungai tercemar ringan-sedang | 0,17 | 2 | 0,33 |
| 5. Jumlah titik pantau kualitas air hanya satu dan belum secara periodik | 0,25 | 3 | 0,75 |
| | 1,00 | 12 | 2,49 |
| Peluang – <i>Opportunity</i> (O) | Bobot | Nilai | Total |
| 1. Ada peraturan tentang baku mutu dan IPLC | 0,27 | 3 | 0,82 |
| 2. Ada forum partisipasi masyarakat melalui Forum Peduli Lingkungan (FPL) & ada pusat pengaduan pencemaran pada instansi BLH Kabupaten Semarang | 0,18 | 2 | 0,36 |
| 3. Ada industri yang berperan serta dalam program Proper | 0,18 | 2 | 0,36 |
| 4. Ketiga industri telah memiliki dokumen lingkungan berupa Dokumen UKL-UPL | 0,18 | 2 | 0,36 |
| 5. Ada program kegiatan pengawasan dan pemantauan kegiatan industri oleh BLH | 0,18 | 2 | 0,36 |
| | 1,00 | 9 | 2,26 |
| Ancaman – <i>Threat</i>(T) | Bobot | Nilai | Total |
| 1. Ada industri yang membuang air limbah belum memenuhi baku mutu | 0,20 | 2 | 0,40 |
| 2. Belum lengkapnya <i>data base</i> mengenai sumber pencemaran dan data profil sungai | 0,20 | 2 | 0,40 |
| 3. Pemberian ijin pembuangan limbah cair industri belum disesuaikan daya tampung sungai | 0,20 | 2 | 0,40 |
| 4. Pada lokasi tertentu masih ada masyarakat yang masih membuang sampah di badan sungai Diwak | 0,20 | 2 | 0,40 |
| 5. Kurangnya koordinasi antar stake holder | 0,20 | 2 | 0,40 |
| | 1,00 | 10 | 2,00 |

Berdasarkan hasil analisis di atas diperoleh $S < W$ dan $O > T$ (Kuadran III). Hal ini menunjukkan bahwa kebijakan pengendalian pencemaran air Sungai Diwak dilakukan dengan memanfaatkan peluang – peluang yang ada (O) yang ada untuk mengatasi kelemahan - kelemahan (W) dalam pengendalian pencemaran air Sungai Diwak. Untuk menentukan strategi kebijakan pengendalian pencemaran air digunakan matrik SWOT seperti pada Tabel 31.

Tabel. 31. Matrik SWOT Pengendalian Pencemaran Air Sungai Diwak

| | | |
|--|---|---|
| <p style="text-align: center;"><i>FAKTOR INTERNAL</i></p> <p style="text-align: center;"><i>FAKTOR EKSTERNAL</i></p> | <p>KEKUATAN – <i>STRENGTH</i> (S) :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Adanya konservasi pada daerah tangkapan air/hulu Sungai diwak 2. Pemanfaatan sungai untuk pengairan tanaman, sehingga persyaratan baku mutu lebih longgar 3. Ketiga industri sudah memiliki fasilitas unit IPAL | <p>KELEMAHAN- <i>WEAKNESS</i> (W) :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kualitas air tidak memenuhi kriteria air kelas II 2. Pada daerah hulu sebelum dipengaruhi air limbah industri, ada parameter yang melebihi baku mutu air Kelas II 3. Pada musim kemarau, daya tampung sungai Diwak untuk parameter BOD sudah terlampaui Status mutu air sungai tercemar ringan-sedang 4. Status mutu air sungai tercemar ringan-sedang 5. Jumlah titik pantau kualitas air hanya satu dan belum secara periodik |
| <p>PELUANG- <i>OPPORTUNITY</i> (O) :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ada peraturan tentang baku mutu dan IPLC. 2. Adanya organisasi Forum Peduli Lingkungan (FPL) di tingkat kecamatan & ada pusat pengaduan pencemaran pada instansi BLH Kabupaten Semarang 3. Ada industri yang mulai berperan serta dalam Proper 4. Ketiga industri telah memiliki dokumen lingkungan berupa Dokumen UKL-UPL 5. Ada program kegiatan pengawasan dan pemantauan kegiatan industri oleh BLH | <p>PELUANG- <i>OPPORTUNITY</i> (O) :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Peningkatan peran serta aktif masyarakat melalui FPL dalam kegiatan pengendalian pencemaran air 2. Peningkatan peran industri dari atur dan awasi tetapi menjadi atur diri sendiri dengan partisipasi dalam kegiatan Proper 3. Meningkatkan upaya konservasi pada hulu dan sepanjang sungai. | <p>PELUANG- <i>OPPORTUNITY</i> (O) :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Perlunya kajian penetapan kelas air dan daya tampung Sungai Diwak. 2. Peningkatan frekuensi kegiatan pengawasan dampak kegiatan industri 3. Penambahan jumlah titik pantau dan frekuensi pemantauan kualitas air sungai 4. Adanya sanksi penegakan hukum maupun <i>local reward</i> kepada industri dalam pengelolaan lingkungan. |

Tabel. 31. Matrik SWOT (lanjutan)

| | | |
|---|---|--|
| <p>ANCAMAN – <i>THREAT</i> (T) :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ada industri yang membuang air limbah belum memenuhi baku mutu 2. Belum lengkapnya <i>data base</i> mengenai sumber pencemaran dan data profil sungai 3. Pemberian ijin industri belum disertai kajian daya tampung sungai. 4. Pada lokasi tertentu masih ada masyarakat yang membuang sampah di badan sungai 5. Kurangnya koordinasi antar stake holder | <ol style="list-style-type: none"> 1. Pembentukan Tim Koordinasi Kebijakan pengendalian Pencemaran air dari hulu hingga hilir yang melibatkan stake holder terkait. 2. Sosialisasi peraturan perundangan tentang pengendalian pencemaran air dan pengelolaan sampah kepada <i>stake holder</i>. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Pelaksanaan kegiatan Prokasih di Sungai Diwak 2. Adanya <i>master plan</i> pengelolaan dan pengendalian pencemaran air Sungai Diwak. |
|---|---|--|

Dari hasil analisis strategi (S-T) terdapat beberapa strategi yang mendukung upaya pengendalian pencemaran air di sungai Diwak, yaitu :

1. Kajian teknis tentang penetapan kelas air dan daya tampung Sungai Diwak sebagai dasar kebijakan pengendalian pencemaran sungai

Penetapan kelas air ini sebagai acuan sasaran jangka panjang yang ingin dicapai dari program pengendalian pencemaran air sungai. Dengan belum ditetapkannya kriteria kelas air bagi Sungai Diwak maka menurut PP No. 82 Tahun 2001 Sungai Diwak dapat menggunakan baku mutu untuk kriteria air Kelas II yaitu air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/ sarana kegiatan rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut. Padahal dari pengamatan di lapangan, sebagian besar penggunaan air Sungai Diwak adalah untuk kegiatan pertanian sehingga dimungkinkan lebih tepat jika menggunakan kriteria mutu air Kelas III atau IV yang baku mutunya lebih longgar jika dibandingkan dengan kriteria Kelas II. Perbedaan baku mutu ini akan berpengaruh terhadap baku mutu beban pencemaran bagi daya tampung dan tingkat pencemaran (Status Mutu Air) Sungai Diwak .

Kajian mengenai daya tampung beban pencemaran dapat dipergunakan untuk mengatur kebijakan pemberian izin lokasi bagi suatu industri atau kegiatan usaha lainnya; pengelolaan air dan sumber air; penetapan rencana tata ruang; pemberian izin pembuangan air limbah; serta penetapan mutu air sasaran dan program kerja pengendalian pencemaran air.

Dalam tahap operasional, suatu industri bisa jadi membuang air limbah ke sungai sesuai atau bahkan di bawah baku mutu maupun beban pencemaran maksimal yang dipersyaratkan. Namun belum tentu sungai tersebut masih memiliki daya tampung sungai bagi penambahan beban

pencemaran industri. Oleh karena itu penerapan kebijakan daya tampung beban pencemaran sungai dapat dilakukan antara lain dengan :

- a. Mewajibkan adanya kajian daya tampung sungai dalam dokumen pengelolaan lingkungan bagi setiap industri yang berpotensi membuang air limbah ke Sungai Diwak.
- b. Melakukan pembatasan jumlah dan kapasitas produksi industri baru yang berpotensi menambah beban pencemaran untuk parameter tertentu yang melebihi daya tampung sungai.
- c. Pembatasan kapasitas produksi bagi industri yang sudah ada sehingga tidak menambah beban pencemaran ke Sungai Diwak.
- d. Adanya prinsip keadilan dalam kebijakan perijinan sehingga industri yang lokasinya berada lebih ke arah hulu tidak serta merta boleh membuang air limbah yang melebihi baku mutu meskipun kualitas dan daya tampung sungai di bagian hulu lebih baik.

2. Peningkatan frekuensi kegiatan pengawasan dan pemantauan kegiatan industri.

Kondisi kualitas air Sungai Diwak pada stasiun pengamatan tertentu mengalami kenaikan konsentrasi zat pencemar yang cukup signifikan. Sesuai Peraturan Daerah provinsi Jawa Tengah Nomor 10 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah dan Peraturan Daerah Kabupaten Semarang Nomor 10 Tahun 2004 tentang Ijin Pembuangan Limbah Cair ke Lingkungan menyebutkan bahwa setiap kegiatan usaha yang membuang air limbah ke lingkungan wajib menyampaikan laporan periodik kualitas air limbah dan pelaksanaan UKL-UPLnya ke instansi lingkungan terkait. Data pelaporan ini tersaji dalam Tabel 32.

Tabel.32 Frekuensi Pelaporan Pelaksanaan Pengelolaan Lingkungan oleh Industri Tahun 2010

| | Nama Industri | Kualitas air limbah | | Laporan pelaksanaan UKL -UPL | |
|-------|---------------|---------------------|---------------------|------------------------------|---------------------|
| | | Frekuensi | Ideal dlm setahun * | Frekuensi | Ideal dlm setahun** |
| 1 | Industri A | 7 | 12 | 0 | 2 |
| 2 | Industri B | 7 | 12 | 0 | 2 |
| 3 | Industri C | 0 | 12 | 0 | 2 |
| Total | | | | | |

*)sekali perbulan, **) setiap 6 bulan sekali

Sumber: BLH Kab. Semarang 2011

Dari data di atas dijadikan dasar bagi pengawasan dan pemantauan rutin bagi instansi terkait. Adanya unit IPAL yang sudah dimiliki oleh ketiga industri akan memudahkan pelaksanaan pengawasan, pemantauan dan pembinaan oleh instansi terkait untuk mengantisipasi kualitas air limbah yang melebihi baku mutu maupun kemungkinan adanya sumber pembuangan lain yang tanpa melalui unit IPAL sehingga berpotensi menambah beban pencemaran pada air Sungai Diwak. Saran pembinaan yang dapat dilakukan adalah memperbaiki kinerja IPAL bagi industri yang buangan air limbahnya masih melebihi baku mutu serta adanya upaya swa pantau dari industri terhadap kualitas air sungai sebelum dan sesudah outlet pembuangan air limbah industri.

3. Penambahan jumlah titik pantau dan frekuensi pemantauan kualitas air Sungai Diwak

Pemantauan kualitas Sungai Diwak dari hulu hingga hilir secara periodik sangat diperlukan untuk memperoleh data informasi yang mendukung upaya pengendalian pencemaran air sungai. Selama ini titik pantau hanya ada pada 1 lokasi dan belum dilaksanakan secara periodik sehingga belum tersedia *series data base* kondisi kualitas air Sungai Diwak dari tahun ke tahun. Oleh karena itu perlu adanya penambahan frekuensi

pemantauan kualitas air sungai dari semula hanya sekali setahun dan tidak dilakukan secara periodik, menjadi minimal 2 kali setahun untuk mewakili musim penghujan dan kemarau serta dilakukan secara periodik setiap tahunnya. Hal ini penting mengingat kondisi debit Sungai Diwak sangat dipengaruhi oleh kondisi meteorologi khususnya curah hujan.

Selain itu minimnya jumlah titik pantau menyulitkan dalam menganalisis sumber beban pencemar yang masuk ke Sungai Diwak. Oleh karena itu dapat dilakukan penambahan jumlah titik pantau (stasiun pengamatan) dari semula hanya 1 menjadi minimal 3 untuk mewakili bagian hulu, tengah dan hilir sungai, atau pada segmen lain yang dianggap sangat mempengaruhi penurunan kualitas air sungai.

4. Adanya sanksi penegakan hukum maupun *local rewards* kepada industri dalam pengelolaan lingkungan

Adanya peraturan baku mutu air limbah dalam Peraturan Daerah provinsi Jawa Tengah Nomor 10 Tahun 2004 dan peraturan pembuangan limbah cair yang tertuang dalam Peraturan Daerah Kabupaten Semarang Nomor 10 Tahun 2004 secara jelas mengatur mengenai teknis pembuangan air limbah ke badan air dalam hal ini Sungai Diwak. Hal ini dapat menjadi dasar kuat dalam upaya pengendalian pencemaran air sungai. Penegakan hukum berupa peringatan, teguran maupun pencabutan ijin dapat dilakukan jika memang diperlukan. Namun demikian, sebagai perimbangan, maka bagi industri yang telah melakukan pengelolaan lingkungan dengan baik perlu diberikan semacam apresiasi misalnya melalui program penilaian kinerja lingkungan semacam Proper pada tingkat lokal (kabupaten) sebagai perwujudan transparansi dan partisipasi publik dalam pengelolaan lingkungan. Begitu pula dengan program *reward* lainnya, yang intinya diharapkan dapat memacu peran serta industri dalam pengendalian pencemaran air.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

1. Air limbah yang dihasilkan dari aktivitas ketiga industri menyumbang potensi beban pencemaran sebenarnya (BPAj) pada Sungai Diwak berupa nilai BOD, COD dan TSS masing – masing sebesar 6,9 kg/hari, 19,19 kg/hari dan 6,11 kg/hari. Adanya beban pencemaran ini mempengaruhi kualitas air Sungai Diwak sebagai berikut :
 - a. Secara umum, terjadi kenaikan konsentrasi sejumlah parameter dari kondisi hulu (ST1) ke kondisi hilir (ST4) sehingga kualitas air Sungai Diwak pada musim penghujan maupun kemarau tidak memenuhi baku mutu kriteria air Kelas II sesuai PP Nomor 82 Tahun 2001 yaitu baku mutu yang digunakan bagi sungai yang belum ditetapkan kelas airnya.
 - b. Adanya perbedaan debit yang cukup besar antara musim penghujan dan kemarau juga berpengaruh terhadap kualitas air Sungai Diwak. Secara umum kualitas air pada musim penghujan lebih baik daripada saat musim kemarau.
 - c. Dari hasil analisa perhitungan Daya Tampung Beban Pencemaran Metode *Streeter-Phelps* dalam kaitannya dengan daya pulih sungai pada musim penghujan, adanya tambahan beban pencemar belum menyebabkan daya tampung alami BOD maksimum sungai terlampaui. Hal yang sebaliknya terjadi pada musim kemarau dimana beban BOD sungai sudah melampaui daya tampung beban BOD maksimum air sungai.

- d. Kondisi Status Mutu Air Sungai Diwak di lokasi penelitian umumnya tergolong tercemar ringan hingga sedang dengan Indeks Pencemaran bervariasi antara 1,1- 5,99 sesuai kriteria air Kelas II (PP Nomor 82 Tahun 2001). Peningkatan Status Mutu Air dari tercemar ringan pada hulu (ST2) menjadi tercemar sedang pada hilir (ST4) terjadi pada musim kemarau dengan nilai IP tertinggi sebesar 5,99.
3. Berdasarkan hasil analisa SWOT terhadap indikator – indikator Pengendalian Pencemaran Air Sungai Diwak maka dihasilkan strategi pengendalian pencemaran air yaitu : kajian penetapan kelas air dan daya tampung Sungai Diwak sesuai peruntukannya, Peningkatan frekuensi kegiatan pengawasan dan pemantauan kegiatan industri, penambahan jumlah titik pantau dan frekuensi pemantauan kualitas air Sungai Diwak, serta penegakan hukum dan *local rewards* kepada industri dalam pengelolaan lingkungan.

5.2 SARAN

1. Perlu dilakukan kegiatan pemantauan kualitas air Sungai Diwak dengan menambah titik pantau menjadi minimal 2 titik yaitu pada bagian hulu dan hilir, menambah frekuensi pemantauan menjadi minimal 2 kali setahun pada musim kemarau dan penghujan, dengan menggunakan laboratorium terakreditasi sehingga diperoleh hasil pengukuran yang akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah. 2010. *Pengaruh Perkembangan Industri Terhadap Pola Pemanfaatan Lahan di Wilayah Kecamatan Bergas Kabupaten Semarang*, Tesis, MPWK, Undip
- Arifin, Fajar dan Warsito, Agung dan Syakur, Abdul. 2011. *Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls untuk Aplikasi Pengolahan Limbah Cair Industri Minuman Ringan dengan Teknologi Plasma Lucutan Korona*. Skripsi. Fakultas Teknik Undip
- Azwir. 2006. *Analisa Pencemaran Air Sungai Tapung Kiri Oleh Limbah Industri Kelapa Sawit PT. Peputra Masterindo di Kabupaten Kampar*. Tesis. MIL Undip
- Creswell, J.W. 1994. *Research Design, Qualitative and Quantitative Approaches*, Thousand Oaks, California: Sage
- Davis, M.L., and D.A. Cornwell. 1991. *Introduction to Environmental Engineering*. Second Edition. Mc-Graw-Hill, Inc. New York
- Daldjoeni, N. 1992. *Geografi baru: Organisasi Keruangan dalam Teori dan Praktek*. Alumni. Bandung
- Djuwansyah, dkk. 2009. *Pencemaran Air Permukaan dan Air Tanah Dangkal di Hilir Kota Cianjur*. Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan Jilid 19 No.2 (2009): 109-121
- Effendi, Hefni. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Kanisius. Yogyakarta
- Fardiaz, S. 1992. *Polusi Air dan udara*. Kanisius. Yogyakarta
- Ginting, Perdana. 1992. *Mencegah dan Mengendalikan Pencemaran Industri*. Pustaka Sinar Harapan. Jakarta:
- _____. 2007. *Sistem Pengelolaan Lingkungan dan Limbah Industri*. Yrama Widya. Bandung
- Jenie, Betty dan Rahayu, Winiati. 2003. *Penanganan Limbah Industri Pangan*. Kanisius. Yogyakarta
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 110 Tahun 2003 tentang Pedoman Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran Air Pada Sumber Air
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air
- Kristanto, Ir. Philip, 2004, *Ekologi Industri*. Penerbit ANDI. Yogyakarta
- Metcalf and Eddy. 1979. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. Fourth Edition. Mc.Graw-Hill. New York
- Mulyadi, Aras. 2005. *Hidup Bersama Sungai, Kasus Provinsi Riau*. Unri Press. Pekanbaru

- Mulyanto, H.R.2007. *Sungai, Fungsi dan Sifat- sifatnya*. Graha Ilmu. Yogyakarta
- Peraturan Pemerintah Nomor 35 Tahun 1991 tentang Sungai
- Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 01 Tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air
- Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 10 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah
- Pratiwi, Yuli.2010. *Penentuan Tingkat Pencemaran Limbah Industri Tekstil Berdasarkan Nutrition Value Coefficient Bioindikator*. Jurnal Teknologi, Vol 3 No.2 (Desember 2010): 129-137
- Priyambada, A. Ika, dkk, 2008. *Analisa Pengaruh Perbedaan Fungsi Tata Guna Lahan Terhadap Beban Cemar BOD Sungai (Studi Kasus Sungai Serayu, Jawa Tengah)*. Jurnal Presipitasi, Vol 5 No.2 (September 2008); 55-62
- Purnomo, R. Agus. 2010. *Kajian Kualitas Perairan Sungai Sengkarang dalam Upaya Pengelolaan Perairan DAS Sengkarang Kabupaten Pekalongan*.Tesis. MIL Undip
- Rangkuti, Freddy. 1997. *Analisis SWOT Teknik Membedah Kasus Bisnis*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
- Sahubawa, Latif. 2008. *Analisis dan Prediksi Beban Pencemaran Limbah Cair Industri Kayu Lapis PT. Jati Dharma Indah, serta Dampaknya Terhadap Kualitas Perairan Laut*. Jurnal Manusia dan Lingkungan, Vol.15 No.2 Juli 2008: 70-78
- Salmin. 2005. “*Oksigen Terlarut (DO) dan Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) sebagai salah satu indikator untuk Menentukan Kualitas Perairan*”. Jurnal Oseana, Vol. XXX. No.3 (2005):21-26
- Sarwono, Jonathan. 2006. *Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif*, Graha Ilmu. Yogyakarta
- Soemarwoto, Otto. 1996. *Ekologi, Lingkungan Hidup dan Pembangunan*, Djambatan. Jakarta
- _____. 2003. *Analisis Mengenai Dampak Lingkungan*, Gajah Mada University Press. Yogyakarta
- Sudadi, Sumarno, M.A., dan Andriani, Martina. 1999. *Kajian Pemanfaatan Limbah Industri Alkohol Bekonang Sebagai Bahan pupuk Organik Cair Plus*. Fakultas Pertanian UNS
- Sugiharto. 1987. *Dasar-dasar Pengolahan Air Limbah*, Universitas Indonesia. Jakarta
- Sugiyono. 2000. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D*, Penerbit Alfabeta. Bandung
- Tugiyono. 2008. *Studi Daya Tampung Beban Pencemaran Air di Daerah Aliran Sungai (DAS) Way Seputih*. Prosiding Seminar hasil Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Lampung; 251-257
- Undang – Undang Nomor 5 Tahun 1984 tentang Perindustrian
- Vagnetti, R, et al. 2003. *Self-Purification ability of a Resurgence Stream*, Chemosphere 52 (2003); 1781-1795

- Wardhana, Wisnu. 2001. *Dampak Pencemaran Lingkungan Edisi Revisi*. Penerbit ANDI. Yogyakarta
- Yang, Hon Jung, *et-al.* 2007. *Water Quality Characteristic Along The course of The Huangpu River (China)*. *Journal of Environmental Science* 19; 1193-1198