

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Sungai

Sungai adalah tempat dan wadah serta jaringan pengaliran air mulai dari mata air sampai muara dengan dibatasi oleh garis sempadan (Peraturan Pemerintah Nomor 35 Tahun 1991). Sungai mengalir dari hulu dalam kondisi kemiringan lahan yang curam berturut-turut menjadi agak curam, agak landai, dan relatif rata. Arus relatif cepat di daerah hulu dan bergerak menjadi lebih lambat dan makin lambat pada daerah hilir. Sungai merupakan tempat berkumpulnya air di lingkungan sekitarnya yang mengalir menuju tempat yang lebih rendah. Daerah sekitar sungai yang mensuplai air ke sungai dikenal dengan daerah tangkapan air atau daerah penyangga. Kondisi suplai air dari daerah penyangga dipengaruhi aktivitas dan perilaku penghuninya (Wardhana, 2001). Sungai sebagai sumber air merupakan salah satu sumberdaya alam yang mempunyai fungsi serba guna bagi kehidupan dan penghidupan manusia.

Menurut Masduqi, dkk (2009) ada dua fungsi utama sungai secara alami yaitu mengalirkan air dan mengangkat sedimen hasil erosi pada Daerah Aliran Sungai dan alurnya (*Self Purification*). Kedua fungsi ini terjadi bersamaan dan saling mempengaruhi.

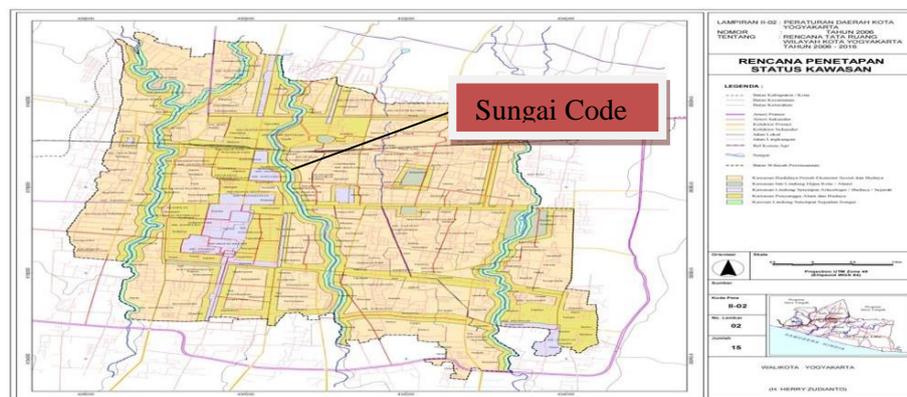
2.2 Sungai Code

Sungai Code merupakan salah satu sungai yang membelah kota Yogyakarta menjadi 2 bagian melewati pusat kota dengan pemukiman penduduk yang sangat padat. DAS Sungai Code memiliki luas keseluruhan sekitar 4.006,25 Ha. Melintasi tiga wilayah kabupaten/kota, yaitu; Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta dan Kabupaten Bantul. Sistem Sungai Code memiliki panjang total \pm 41 km, membentang dari Bukit Turgo di lereng Gunung Merapi dan bermuara di Sungai Opak (Norma, 2007).

Berdasarkan sumber yang didapat dari Laporan BLH DIY Tahun 2015 Sungai Code terbagi menjadi 2 sungai, yaitu:

1. Sungai Boyong (sebelah hulu), panjang sungai 23 km dengan batas hilir di Kecamatan Ngaglik, Kabupaten Sleman.
2. Sungai Code (sebelah hilir), panjang sungai 18 km dengan batas hilir tepat di pertemuan dengan Sungai Opak di Kecamatan Jetis Kabupaten Bantul.

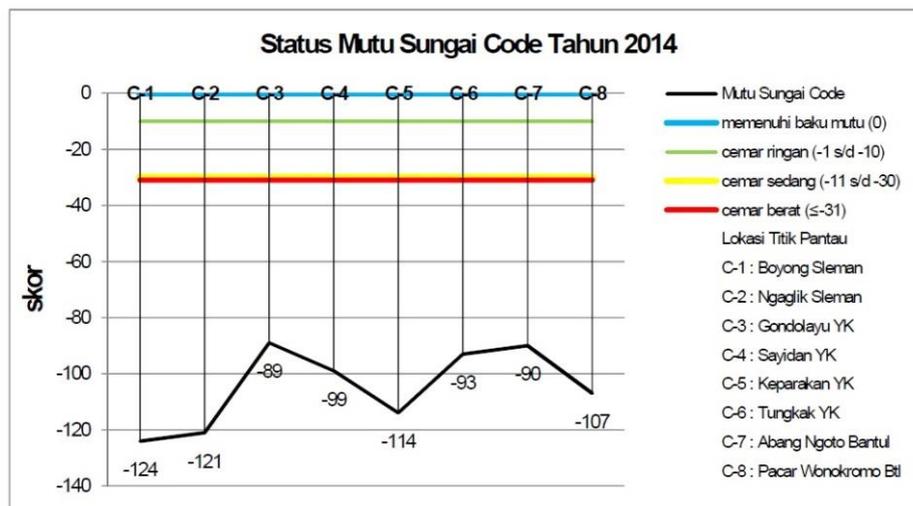
Sebelum memasuki Kota Yogyakarta, Sungai Code melewati areal pertanian subur yang sangat luas dan kemungkinan besar limbah kimia pertanian akan masuk dan mencemari Sungai Code dari hulu. Setelah memasuki Kota Yogyakarta, diprediksi akan terjadi peningkatan jumlah sumber pencemar, antara lain limbah dari rumah sakit, hotel, pabrik penyamakan kulit, pabrik karoseri mobil dan sampai limbah domestik yang secara kumulatif dapat berdampak terhadap kualitas lingkungan (Norma, 2007). Peningkatan tingkat pencemaran tersebut apabila tidak dilakukan pengendalian secara dini akan mengganggu kelangsungan hidup manusia maupun lingkungan sekitarnya.



Gambar 2.1 Letak Sungai Code di D.I. Yogyakarta

Status mutu air adalah tingkat kondisi mutu air yang menunjukkan kondisi cemar atau kondisi baik pada suatu sumber air dalam waktu tertentu. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Badan Lingkungan Hidup DIY pada tahun 2014 dengan menggunakan metode STORET menunjukkan bahwa Sungai Code tergolong tercemar.

Beberapa parameter yang melebihi baku mutu dan memberikan kontribusi skor negatif pada lokasi titik pantau C-1 (Jembatan Boyong Sleman) adalah parameter TSS, BOD, COD, Klorin Bebas, Nitrit, Sulfida, Fenol, Fosfat, Besi, Mangan, Warna, Timbal, Koli Tinja dan Total Koli.



Gambar 2.2 Grafik Status Mutu Air Sungai Code Tahun 2014
(Sumber: Laporan SLHD DIY Tahun 2014)

2.3 Pencemaran Air

Menurut Kusuma (2014) sungai merupakan perairan terbuka yang mengalir yang mendapat masukan dari semua buangan berbagai kegiatan manusia di daerah pemukiman, pertanian, dan industri di daerah sekitarnya. Masukan buangan ke dalam sungai akan mengakibatkan terjadinya perubahan faktor fisika, kimia, dan biologi di dalam perairan. Perubahan ini dapat menghabiskan bahan-bahan yang *essensial* dalam perairan sehingga dapat mengganggu lingkungan perairan. Odum (1993) menjelaskan bahwa komponen biotik dapat memberikan gambaran mengenai kondisi fisika, kimia, dan biologi dari suatu perairan. Sumber-sumber pencemaran air Sungai Code antara lain berasal dari limbah domestik, limbah industri, dan limbah pertanian. Pada DAS Code sumber pencemaran yang utama berasal dari limbah domestik rumah tangga dan limbah pertanian. Masuknya bahan organik ke dalam perairan mempunyai akibat yang sangat kompleks. Penambahan bahan organik maupun anorganik berupa limbah ke dalam perairan selain akan

mengubah susunan kimia air, juga akan memengaruhi sifat-sifat biologi dari perairan tersebut.

2.3.1 Sumber Pencemaran Air Sungai

Menurut Soedomo (2011) sumber pencemaran sungai dikelompokkan dalam 3 kelompok, yaitu :

1. Sumber pencemaran sungai menetap (*point source*) seperti limbah domestik, limbah industri, limbah pertanian, dan lain sebagainya pada satu titik pencemaran.
2. Sumber pencemaran sungai yang tidak menetap (*diffuse source*) seperti limbah domestik, limbah industri, pertanian dan lain sebagainya pada beberapa titik pencemaran atau secara menyebar dan jaraknya tidak konstan.
3. Sumber pencemaran sungai campuran (*compound area source*) yang berasal dari titik tetap dan tidak tetap.

2.3.2 Jenis-Jenis Pencemar Air Sungai

Lesmana (2001) menjelaskan secara umum, pencemaran air dapat disebabkan oleh berbagai jenis polutan yang dapat dikategorikan sebagai berikut :

1. *Infection Agent* (Agen Infeksius)

Infection agent (agen infeksius) merupakan bahan pencemar yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan manusia (penyakit). Bahan pencemar ini berupa mikroorganisme patogen yang berasal dari *excreta* manusia dan hewan yang tidak dikelola dengan baik. Untuk mendeteksi keberadaan mikroorganisme patogen di dalam air, dapat digunakan bakteri *Coliform* sebagai bakteri penunjuk *indicator organism*. Jika dalam sampel air tersebut ditemui *indicator organism*, air tersebut sudah tercemar oleh tinja (mikroorganisme patogen). Akan tetapi, jika di dalam air tidak ditemukan *indicator organism*, air tersebut tidak tercemar oleh tinja (mikroorganisme patogen).

2. Zat – Zat Pengikat Oksigen

Dissolved oxygen atau jumlah oksigen terlarut adalah indikator yang baik untuk menentukan kualitas air. Kandungan oksigen dalam air di atas 6 ppm dapat mendukung kehidupan tumbuhan, ikan, dan makhluk hidup dalam air. Kandungan oksigen kurang dari 2 ppm hanya dapat mendukung kehidupan cacing, bakteri, jamur, dan mikroorganisme pengurai. Oksigen yang terlarut dalam air berasal dari difusi oksigen dan proses fotosintesis fitoplankton. Oksigen digunakan untuk proses respirasi makhluk hidup air dan proses kimia dalam air. Apabila dalam suatu perairan banyak termasuk sisa makanan, jumlah mikroorganisme dalam perairan tersebut akan meningkat. Hal ini akan berakibat pada peningkatan jumlah oksigen dalam air yang digunakan untuk pernapasan mikroorganisme sehingga menurunkan jumlah oksigen terlarut. Jika bahan organik telah habis, jumlah mikroorganisme akan berkurang pula sehingga secara alamiah kandungan oksigen di dalam akan naik dan kembali stabil. Hal ini dapat membahayakan kehidupan makhluk hidup di dalam air jika pembuangan sisa makanan ke dalam perairan tersebut terjadi secara terus – menerus.

3. Sedimen

Sedimen terdiri atas tanah dan pasir yang masuk ke air dari erosi atau banjir dan dapat menimbulkan pendangkalan aliran sungai. Selain itu, sedimentasi dapat menimbulkan kekeruhan air yang menghalangi penetrasi cahaya matahari sehingga mengganggu proses fotosintesis fitoplankton yang berarti pula berkurangnya pasokan oksigen dalam air.

4. Nutrisi atau Unsur Hara (Nitrat dan Fosfat)

Nutrisi atau unsur hara dapat mengakibatkan peningkatan produktivitas primer yang ditimbulkan oleh adanya penyaringan air dengan unsur hara yang dibutuhkan oleh tumbuhan (eutrofikasi). Keadaan ini dapat meningkatkan populasi ganggang dan bakteri dalam perairan tersebut. Akibatnya, air menjadi keruh dan bau. Selain itu, juga menghambat proses

masuknya oksigen ke perairan yang secara tidak langsung dapat menurunkan kadar oksigen di dalam air.

5. Pencemar Anorganik

Bahan pencemar anorganik adalah logam, garam, asam, dan basa. Merkuri, kadmium, timbel, dan nikel adalah logam dengan kadar yang relatif kecil sudah dapat mengakibatkan pencemaran. Asam dapat masuk ke dalam air dari produk samping proses industri dan pelapisan logam. Asam dan basa ini dapat menyebabkan perubahan pH air yang dapat mengganggu kehidupan di dalam air. Contoh lain, kasus keracunan kobalt yang terjadi di Nebraska merupakan penyakit tidak menular yang disebabkan oleh kontaminasi kobalt di dalam air. Akibat keracunan ini timbul penyakit jantung, kerusakan kelenjar gondok, darah tinggi, dan kaki bengkak.

6. Zat Kimia Organik

Banyak zat kimia organik yang mempunyai toksisitas yang tinggi. Kontaminasi antara zat kimia organik dengan air dapat mengancam kesehatan makhluk hidup di dalamnya. Zat kimia organik digunakan dalam industri kimia, misalnya, untuk pembuatan pestisida, plastik, produk farmasi, pigmen, dan produk lainnya.

7. Energi Panas

Kualitas air akan turun jika terjadi perubahan temperatur. Pembuangan air limbah yang mengandung panas mengakibatkan kenaikan temperatur yang menyebabkan turunnya kadar oksigen dalam air. Air yang panas pada permukaan air dapat menghambat masuknya oksigen ke dalam air di level bawah.

8. Zat Radioaktif

Zat radioaktif yang teraplikasi dalam teknologi nuklir yang digunakan pada berbagai bidang dapat menimbulkan sisa pembuangan. Dapat saja sisa

zat radioaktif tersebut terbawa ke dalam lingkungan air. Pengaruh radioaktif ini dapat mengakibatkan gangguan pada proses pembelahan sel, rusaknya kromosom, dan lebih jauh dalam waktu yang lama dapat terjadi kerusakan sistem reproduksi dan sel tubuh.

2.4 Pengelolaan Sumber Daya Air

Pengelolaan sumber daya air terpadu pada umumnya menggunakan DAS sebagai unit satuan analisisnya. Oleh karena itu, pemahaman mengenai fungsi ekosistem DAS sangat penting sebagai upaya awal pengelolaan sumberdaya air pada suatu daerah. Ekosistem DAS umumnya terbagi menjadi tiga bagian yaitu hulu, tengah, dan hilir. Seluruh bagian dari DAS memiliki keterkaitan dalam aspek biofisik melalui daur hidrologi. Sebagai sebuah sistem yang saling berkaitan, maka pengelolaan DAS sebagai upaya pengelolaan sumberdaya air harus terpadu dan berkelanjutan (Asdak, 2010).

Bentuk pengelolaan air salah satunya adalah kontrol terhadap kondisi kualitas air pada suatu badan sungai. Kualitas air juga merupakan bagian yang penting dalam pengembangan isu sumber daya air. Kualitas air yang dimaksud adalah kondisi fisik, kimia, dan biologi air yang berpengaruh terhadap kebutuhan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya (Asdak, 2010). Pengelolaan air sangat penting mengingat makin buruknya kondisi sungai dari waktu ke waktu. Penurunan kualitas air sungai tersebut disebabkan karena sungai dimanfaatkan sebagai tempat pembuangan akhir limbah khususnya limbah rumah tangga atau domestik, sehingga pencemaran makin intensif dan merusak ekosistem (Widyastuti dan Marfai, 2004).

2.5 Tinjauan Umum Tentang Bahan Pencemar

2.5.1 Limbah Domestik

Limbah adalah segala macam sisa dari adanya suatu kegiatan yang tidak dimanfaatkan lagi baik untuk kegiatan produksi lebih lanjut, untuk konsumsi, maupun untuk distribusi dan sisa tersebut kemudian dibuang ke badan air, udara ataupun tanah (Amalia, 2015). Limbah ini apabila melebihi daya tampung lingkungan akan dapat menciptakan pencemaran lingkungan baik lingkungan air,

udara maupun tanah. Pencemaran lingkungan adalah masuknya atau dimasukinya makhluk hidup, zat, energi, dan atau komponen lain kedalam lingkungan dan atau berubahnya tatanan lingkungan oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam, sehingga kualitas alam turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan menjadi kurang sesuai peruntukannya (Sudarmadji, 2006).

Menurut Ahmad (2009) Pencemaran air didefinisikan sebagai suatu peristiwa masuknya zat-zat ke dalam air yang mengakibatkan kualitas (mutu) air tersebut menurun, sehingga dapat mengganggu atau membahayakan kesehatan masyarakat.

Limbah domestik adalah semua buangan yang berasal dari kamar mandi, dapur, tempat cuci pakaian, cuci peralatan dan rumah tangga, apotek, rumah sakit, rumah makan dan sebagainya. Secara kuantitatif limbah tersebut terdiri dari zat organik baik berupa padat atau cair, bahkan berbahaya dan beracun (B3), garam, lemak, dan bakteri (Sasongko, 2006).

2.5.2 Limbah Industri

Pabrik industri mengeluarkan limbah yang dapat mencemari ekosistem air, pembuangan limbah industri ke sungai dapat menyebabkan berubahnya susunan kimia, bakteriologi serta fisik air. Polutan atau limbah yang dihasilkan oleh pabrik dapat berupa logam berat (misal; timbal, tembaga dan seng) dan panas. Air yang tinggi temperaturnya sulit menyerap oksigen yang pada akhirnya akan mematikan biota air. Selanjutnya dijelaskan jumlah air limbah yang berasal dari industri sangat bervariasi tergantung dari jenis dan besar kecilnya industri, pengawasan pada proses industri, volume penggunaan air dan teknologi pengolahan air limbah (Effendi, 2003).

2.5.3 Limbah Pertanian

Pupuk dan pestisida biasa digunakan para petani untuk merawat tanamannya. Namun pemakaian pupuk dan pestisid yang berlebihan dapat mencemari air. Limbah pupuk mengandung kandungan yang dapat merangsang pertumbuhan gulma air yang tidak terkendali ini menimbulkan dampak seperti yang

diakibatkan oleh deterjen. Limbah pestisida mempunyai altifitas dalam jangka waktu yang lama dan ketika terbawa aliran air keluar dari daerah pertanian, dapat mematikan hewan yang bukan sasaran seperti ikan, udang dan hewan air lainnya. Pestisida mempunyai sifat relatif tidak larut dalam air, tetapi mudah larut dan cenderung kandungannya meningkat dalam lemak dan sel-sel tubuh makhluk hidup disebut *Biological Amplification* (Warlina, 2004).

Manfaat pestisida yaitu mengendalikan beberapa penyakit tanaman untuk meningkatkan produktivitas pertanian dan pengendalian hama. Resiko utama adalah kontaminasi lingkungan terutama translokasi dalam lingkungan dimana pestisida dapat masuk melalui rantai makanan pada lingkungan perairan yang berpotensi untuk terjadinya bioakumulasi. Permukaan air dapat terkontaminasi oleh limbah pertanian seperti pestisida dan pupuk yang terbawa oleh air hujan ke sungai yang dapat menyebabkan terjadinya pencemaran air (Atiam, 2010).

2.6 Daya Tampung Beban Pencemar (DTBP)

Daya Tampung Beban Pencemar adalah nilai yang menggambarkan kemampuan dari sumber air untuk menerima suatu beban pencemaran dari berbagai sumber pencemar tanpa menjadikan sumber air ikut tercemar. Hasil dari nilai DTBP yang telah didapatkan akan digunakan sebagai alat pertimbangan penentuan keputusan dan kebijakan daerah seperti :

- a. Penetapan rencana tata ruang,
- b. Pemberian izin usaha atau kegiatan,
- c. Pemberian izin pembuangan limbah,
- d. Penetapan mutu air serta arah kebijakan pengendalian pencemaran air
(Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 1 Tahun 2010).

Perhitungan DTBP dilakukan per segmen sungai sehingga dapat ditentukan beban pencemaran maksimal yang diperbolehkan untuk dibuang ke badan sungai. Air dikatakan tercemar sebenarnya sangat relatif terhadap penggunaannya. Setiap kualitas air sampai di bawah tingkat kualitas tertentu sehingga menyebabkan tidak

sesuai lagi dengan penggunaannya dapat dikatakan pencemaran air (Agustiningsih, 2012).

2.7 Baku Mutu

Pengertian baku mutu air berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 adalah ambang batas dari kadar suatu komponen-komponen kimia, makhluk hidup, zat atau energi yang masih diperbolehkan terdapat pada suatu sumber air. Penggunaan baku mutu air disesuaikan dengan peruntukkan dari suatu sumber air dan keberadaan sumber air. Sungai Code merupakan sungai yang berada di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta sehingga regulasi mengenai baku mutu yang digunakan mengacu pada Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 20 Tahun 2008 yang diklasifikasikan menjadi empat kelas yaitu :

1. Kelas I : air yang peruntukannya dapat digunakan sebagai air minum, dan peruntukan lain yang mensyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
2. Kelas II: air yang peruntukannya dapat digunakan untuk sarana/prasarana rekreasi air, budidaya ikan air tawar, pertanian, peternakan, atau peruntukan lain yang mensyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
3. Kelas III: air yang peruntukannya dapat digunakan untuk budidaya ikan air tawar, peternakan, mengairi pertanaman, atau peruntukan lain yang mensyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
4. Kelas IV: air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanaman dan peruntukan lain yang mensyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Sungai Code yang merupakan sungai yang berada di satu provinsi sehingga pengelolaan kualitas air Sungai Code dilakukan oleh pemerintah provinsi, hal tersebut sesuai dengan pasal 5 Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 yang

menyatakan bahwa pemerintah provinsi melakukan pengelolaan kualitas air lintas kabupaten/kota. Penggunaan kelas baku mutu kelas I, II dan III. Pemilihan baku mutu kelas pada Sungai Code didasarkan pada Peraturan Gubernur DIY Nomor 22 Tahun 2007 tentang penetapan kelas air sungai di Provinsi DIY yang menyatakan bahwa penentuan kelas air Sungai Code pada daerah penelitian masuk dalam baku mutu kelas air I untuk bagian hulu (Jembatan Ngentak), baku mutu air kelas II untuk bagian tengah (Jembatan Godolayu, Jembatan Sayidan, Jembatan Keparakan), dan baku mutu air kelas III untuk bagian hilir (Jembatan Tungkak, Jembatan Ngoto, Jembatan Pacar Wonokromo).

2.8 Parameter Kualitas Air Sungai

Penentuan parameter yang ditetapkan oleh pemerintah pada PP Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, parameter yang digunakan sebagai pengelolaan dan pengendalian pencemaran air terbagi menjadi lima yaitu parameter fisika, parameter kimia organik, parameter kimia anorganik, parameter mikrobiologi, dan parameter radiktivitas dengan total 42 parameter pencemaran. Banyaknya parameter pencemaran tersebut menyebabkan penelitian kurang efisien dan menjadikan biaya penelitian semakin besar, selain itu tidak semua jenis pencemar mencemari daerah yang dijadikan penelitian sehingga berdasarkan lampiran III dari Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 01 Tahun 2010 tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Air Limbah menyarankan penggunaan parameter kunci yang diharapkan mampu mewakili parameter lainnya.

Penentuan daya tampung beban pencemar di Sungai Code dilakukan dengan menggunakan beberapa parameter kunci yang dapat mengindikasikan adanya pencemaran di Sungai Code. Parameter yang digunakan yaitu : DO (*Dissolved Oxygen*), BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*). Masing-masing parameter tersebut digunakan sebagai indikator pencemaran yang disebabkan oleh permukiman, pertanian, dan limbah perindustrian yang dibuang ke dalam badan sungai. Parameter DO, BOD, dan COD merupakan parameter yang komprehensif dalam menggambarkan polusi perairan

(Yang, dkk, 2009), hal tersebut menjadikan ketiga parameter tersebut digunakan dalam penelitian ini.

2.8.1 DO (*Dissolved Oxygen*)

DO sangat sangat dibutuhkan bakteri aerobik dalam proses respirasi (Yuliastuti, 2011). Kekurangan DO menyebabkan kematian mikroorganisme karena DO digunakan untuk proses metabolisme dalam tubuh mikroorganisme dan berkembang biak (Warlina, 2004). Semakin besar oksigen yang terlarut menunjukkan pengotoran yang semakin kecil. Parameter DO merupakan parameter yang paling fluktuatif karena pengaruh reaerasi (transfer oksigen) di badan air dari atmosfer, metabolisme organisme, difusi yang terjadi dan banyak faktor lainnya (Kadyonggo, 2013).

2.8.2 BOD (*Biological Oxygen Demand*)

BOD atau *Biological Oxygen Demand* adalah parameter yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh biota perairan untuk mengurai bahan pencemar yang ada di dalam badan air. BOD tidak menunjukkan bahan organik yang sebenarnya (Fardiaz, 1992). BOD merupakan salah satu parameter yang digunakan dalam menentukan pencemaran sungai karena makin tinggi nilai BOD pada badan air maka mengindikasikan bahwa badan air tersebut telah mengalami pencemaran umumnya oleh limbah permukiman dan industri (Rahmawati, 2011). Perairan dapat dikatakan tercemar dengan parameter BOD menurut Effendi (2003) adalah jika nilai BOD pada perairan tersebut telah melebihi 10 mg/L. Nilai BOD akan secara langsung mempengaruhi jumlah oksigen terlarut diperairan karena semakin besar nilai BOD, maka kadar oksigen diperairan juga akan cepat habis. Sumber yang menyebabkan tingginya nilai BOD adalah sisa-sisa dedaunan, tumbuhan atau hewan yang mati, kotoran hewan atau manusia, limbah ternak atau domestik, dan lainnya (USEPA, 2006).

2.8.3 COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD atau *Chemical Oxygen Demand* adalah parameter yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh bahan-bahan oksidan untuk mengoksidasi bahan-bahan buangan yang terdapat di dalam badan air melalui reaksi kimia. Nilai COD umumnya lebih tinggi dibanding nilai BOD karena dalam proses pengukuran COD, bahan-bahan yang stabil terhadap reaksi biologi dapat teroksidasi dalam uji COD (Fardiaz, 1992). COD digunakan sebagai indikator pencemar karena COD dapat mengindikasikan adanya kandungan limbah beracun non organik yang umumnya berasal dari limbah domestik dan limbah perindustrian (Rahmawati, 2011) dan hal tersebut menurut Effendi (2003) sangat tidak menguntungkan bagi keperluan pertanian dan perikanan. Limbah rumah tangga dan limbah industri merupakan penyebab utama tingginya konsentrasi COD (Lumaela, dkk, 2013). Perairan yang tidak tercemar pada umumnya memiliki nilai COD kurang dari 200 mg/L (Effendi, 2003).

2.9 Hubungan Antar Parameter

DO, BOD, dan COD merupakan tiga parameter yang secara langsung maupun tidak langsung dipengaruhi oleh ketersediaan oksigen di dalam sampel air. Semakin besar nilai DO pada air, mengindikasikan air tersebut memiliki kualitas yang bagus. Sebaliknya jika nilai DO rendah, dapat diketahui bahwa air tersebut telah tercemar. Pengukuran DO juga bertujuan melihat sejauh mana badan air mampu menampung biota air seperti ikan dan mikroorganisme. Pemeriksaan kadar oksigen terlarut didalam air untuk mengetahui tingkat pencemarannya, dapat diketahui melalui pemeriksaan BOD dan COD. Apabila BOD dan COD disuatu perairan tinggi maka DO menurun karena oksigen yang terlarut tersebut digunakan oleh bakteri. COD adalah kapasitas air untuk menggunakan oksigen selama penguraian senyawa organik terlarut dan mengoksidasi senyawa anorganik. Sedangkan BOD adalah kuantitas oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme aerob dalam menguraikan senyawa organik.

Didalam air, oksigen memainkan peranan dalam menguraikan komponen-komponen kimia menjadi komponen yang lebih sederhana. Oksigen memiliki

kemampuan untuk beroksidasi dengan zat pencemar seperti komponen organik sehingga zat pencemar seperti komponen tersebut tidak membahayakan. Oksigen juga diperlukan oleh mikroorganisme, baik yang bersifat aerob maupun anaerob, dalam proses metabolisme. Dengan adanya oksigen dalam air, mikroorganisme semakin giat dalam menguraikan kandungan air.

2.10 *Self Purification*

Pencemaran dan kerusakan lingkungan dapat disebabkan karena kegiatan industri (Gunalan,1993). Pengembangan sektor industri akan berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan kita, terutama di Indonesia dikarenakan adanya limbah cair, gas, dan padatan. Dampak yang ditimbulkan dapat berupa gas buang seperti belerang dioksida (SO_2) akan menyebabkan terjadinya hujan asam dan akan merusak lahan pertanian. Disamping itu, adanya limbah cair dengan kandungan logam berat beracun (Pb, Ni, Cd, Hg) akan menyebabkan degradasi lahan pertanian dan terjadinya pencemaran. Limbah cair ini apabila masuk ke dalam badan air, akan berdampak pada meluasnya persebaran polutan dalam badan air (Boyd, 1990).

Secara alamiah sistem perairan mampu melakukan proses *Self Purification*, namun apabila kandungan senyawa organik sudah melampaui batas kemampuan *Self Purification*, maka akumulasi bahan organik dan pembentukan senyawa – senyawa toksik di perairan tidak dapat dikendalikan, sehingga menyebabkan menurunnya kondisi kualitas air.

Senyawa amonia dan nitrit bersifat toksik bila konsentrasinya sudah melebihi ambang batas. Senyawa amonia atau amonium dan nitrit dalam batas – batas konsentrasi tertentu dapat menimbulkan dampak negatif. Tingginya akumulasi bahan organik menimbulkan beberapa dampak yang merugikan, yaitu:

- 1) Memacu pertumbuhan mikroorganisme heterotrof dan bakteri patogen,
- 2) Eutrofikasi,
- 3) Terbentuknya senyawa toksik (amonia dan nitrit),
- 4) Menurunnya konsentrasi oksigen terlarut

Proses *Self Purification* atau pemurnian alami merupakan kemampuan air sungai untuk menguraikan zat – zat pencemar yang masuk ke dalam air sungai. Kemampuan ini menjelaskan mengapa kualitas air sungai cenderung baik saat mencapai hilir. Kemampuan *Self Purification* ini bekerja berdasarkan aktivitas biologi di air sungai. Karena itu, proses ini sangat dipengaruhi oleh organisme yang hidup di sungai dan debit sungai. Diperlukan sebuah studi untuk mempelajari karakteristik *Self Purification* sungai. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan sungai untuk memurnikan kembali zat pencemar yang masuk ke dalamnya (Garno, 2000).

Berdasarkan pernyataan Gunalan (1993) bahwa, Pemurnian Alami (*Self Purification*) pada sungai alam sebenarnya memiliki kemampuan mengatasi masalah pencemaran yang terjadi. Mekanisme yang disebut *Self Purification* itu, lahir bersamaan dan ada dalam diri alam dari zaman ke zaman. Akan tetapi, *Self Purification* atau daya dukung alam hanya bisa muncul pada kondisi pencemaran tertentu. Yang terjadi belakangan, ketika bersentuhan dengan peradaban *modern*, tingkat pencemaran sudah melebihi ambang batas atau kapasitas daya dukung alam. Pengembangan pemurnian alami terdiri dari beberapa zona yaitu:

1. Zona air bersih, zona ini terdapat jauh di hulu sungai, jauh dari sumber pencemaran indikatornya adalah masih dapat dimanfaatkan air sebagai bahan air minum.
2. Zona Dekomposisi, zona ini terdapat pada daerah sumber pencemaran, limbah yang mengalir akan didekomposisi / dioksidasi proses pembongkaran bahan organik oleh bakteri dan mikroorganisme. Indikator daerah ini kaya akan bakteri dan mikroorganisme.
3. Zona Biodegradasi, pada daerah ini terjadi penurunan oksigen terlarut *Dissolved Oxygen*. Sehingga nilai COD di perairan sangat tinggi.
4. Zona pemulihan, pada zona ini kualitas air kembali bersih, nilai oksigen terlarut kembali normal.

2.11 QUAL2Kw

Model kualitas air adalah model matematis yang dirumuskan dari proses fisik, kimiawi dan biologis dalam sistem perairan. Model adalah representasi suatu sistem yang kompleks yang disederhanakan. Model seperti kondisi nyata (*real world*) sehingga memungkinkan untuk mengukur dan bereksperimen dengan cara yang mudah dan murah ketika eksperimen di laboratorium tidak mungkin dilakukan, terlalu mahal, atau membutuhkan waktu yang lama (*time consuming*). Hal ini juga diatur oleh Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 01 Tahun 2010 yang memperbolehkan menggunakan metode perhitungan yang telah teruji secara ilmiah, yaitu metode neraca massa, metode streeter-phelps, pemodelan numerik terkomputerisasi (*computerized numerical modeling*) dan metode lain yang didasarkan pada perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi sepanjang dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Software Qual2Kw merupakan pengembangan dari model Qual2E dengan menggunakan bahasa pemrograman *Visual Basic for Application* (VBA) yang dapat dijalankan dengan program *Microsoft Excel*. Dalam penelitian ini digunakan model Qual2Kw versi 5.1. Model ini mampu mensimulasi parameter kualitas air antara lain *Temperature, Conductivity, Inorganic Solids, Dissolved Oxygen, CBODslow, CBODfast, Organic Nitrogen, NH-4 Nitrogen, NO3-Nitrogen, Organic Phosphorus, Inorganic Phosphorus (SRP), Phytoplankton, Detritus (POM), Pathogen, Generic Constituent, Alkalinity, PH* (Pelletier, G dan S. Chapra, 2006).

Pada tahun 2003, Pelletier dan Chapra mengembangkan model QUAL2K, yang kemudian dikembangkan menjadi QUAL2Kw. Sebagai tambahan proses dalam QUAL2K, QUAL2Kw memasukkan beberapa proses dan pilihan baru. Model QUAL2Kw memodelkan pertukaran air antara kolom permukaan air dan zona *hyporheic* serta pori sedimen otomatis (Kannel et al., 2011). Zona *hyporheic* merupakan area di bawah dasar sungai dimana air berperkolasi melalui ruang-ruang diantara batu-batuan dan kerikil yang merupakan fitur penting lain untuk mensimulasikan sungai yang dangkal (Pelletier et al., 2006). Suatu pathogen generic disimulasikan sebagai fungsi temperature, cahaya, dan *settling*. Selain itu, QUAL2Kw memasukkan suatu algoritma genetik untuk mengkalibrasi parameter-

parameter laju kinetik secara otomatis (Kannel et al., 2011). Adanya fitur kalibrasi otomatis meringankan pemodel dari pekerjaan kalibrasi dengan metode *trial and error* manual yang memerlukan waktu lama.

Menurut Hossain (2013), tahapan yang umumnya dilakukan dalam studi pemodelan kualitas air adalah sebagai berikut :

- a. Identifikasi model. Tujuannya untuk mengidentifikasi konsep pemodelan yang paling sederhana yang dapat mempresentasikan seluruh fenomena penting yang berpengaruh terhadap persebaran dan transformasi zat pencemar di sungai. Disamping itu, pada tahap ini dilakukan seleksi model yang paling sesuai dengan karakteristik limbah dan kondisi geo-fisik kimia sungai. Berbagai *software* untuk pemodelan kualitas air sungai telah tersedia, bahkan beberapa sudah menjadi *public domain*. Apabila spesifikasi *software* yang telah tersedia sesuai dengan tujuan dan konsep pemodelan termasuk teknik numeriknya, maka aplikasi model tersebut secara langsung merupakan langkah yang paling efisien. Namun demikian untuk kasus tertentu dimana *software* yang tersedia tidak dapat memenuhi spesifikasi yang diinginkan, maka modifikasi *code* program perlu dilakukan.
- b. Menetapkan *design* model yang terdiri dari luasan dan batas wilayah yang akan dimodelkan dan waktu pemodelan.
- c. Simulasi dengan menggunakan berbagai skenario manajemen yang relevan. Karakteristik fisik badan air yang dimodelkan selalu memiliki ketidakpastian (*uncertainty*), sifat dan perilaku pencemar juga banyak yang belum dikenali, sehingga eksekusi model (simulasi) dilakukan dengan menggunakan beberapa skenario. Skenario tersebut bisa juga terkait dengan waktu simulasi dan pelibatan proses alami maupun aktivitas manusia. Simulasi dilakukan dengan mempertimbangkan seberapa akurat hasil yang diinginkan, juga melihat keterbatasan dan kelebihan model.
- d. Kalibrasi model. Kalibrasi dilakukan dengan mencocokkan nilai variable agar hasil pemodelan sesuai atau mendekati data yang dikumpulkan dilanpangan. Selain menggunakan data lapangan, biasanya kalibrasi juga dilakukan dngan menggunakan hasil eksperimen laboratorium dan hasil

pemodelan analitik (jika tersedia). Pada tahap kalibrasi model biasanya dilakukan proses analisis sensitivitas untuk mendapatkan hasil pemodelan yang paling mendekati dengan data lapangan atau eksperimen.

- e. Validasi/verifikasi. Pada tahap ini hasil simulasi dibandingkan dengan satu set data lapangan yang berbeda dengan data lapangan yang digunakan pada tahap kalibrasi. Pada validasi dapat diuji apakah parameter yang digunakan pada tahap kalibrasi sudah sesuai jika digunakan untuk di data set yang lain, sehingga siap untuk mensimulasikan skenario-skenario yang biasanya meramalkan kejadian di masa mendatang.
- f. Analisis hasil pemodelan. Analisis hasil pemodelan perlu dilakukan dengan menggunakan referensi teori ilmiah, membandingkan dengan kondisi di lapangan juga dengan meminta *expert judgement*. Hasil pemodelan dapat ditayangkan dalam bentuk grafik, tabel, peta maupun paparan deskripsif. Hasil pemodelan seharusnya menyajikan analisis permasalahan, potensi dan rekomendasi yang berbentuk kuantitatif dan kualitatif.

Untuk menyesuaikan dengan ilmu pengetahuan terkini, kerangka kerjanya juga memasukkan beberapa fitur baru yang memungkinkan diaplikasikannya model ini pada aliran dangkal di hulu sungai (Pelletier dan Chapra, 2008). QUAL2Kw memiliki aspek-aspek berikut ini :

1. *One dimensional* (satu dimensi). Air dalam sungai dianggap tercampur dengan baik secara vertical maupun lateral.
2. *Steady state hydraulic* (hidrolika aliran tunak). Aliran tunak yang dimaksud dalam hal ini adalah kondisi dimana komponen aliran tidak berubah terhadap waktu.
3. *Diel head budget*. Neraca panas dan temperatur disimulasikan sebagai fungsi meteorologi pada skala waktu (*diel time scale*).
4. *Diel waterquality kinetics*. Semua variabel kualitas air disimulasikan pada satu skala waktu (*diel time scale*).
5. *Head and mass inputs*. Beban *point* dan *non-point* serta pengambilan air (*withdrawals*) disimulasikan.

Pemodelan Qual2Kw merupakan model yang dapat membagi sistem sungai menjadi penggal-penggal. Pemodelan Qual2Kw diimplementasikan pada lingkungan *Microsoft Windows* dengan berbagai perhitungan numerik didalamnya yang diprogramkan pada *Fortran*. *Microsoft Excel* digunakan sebagai input dan output atau *graphical user interface* saja dan semua operasi *interface* pemodelan diprogramkan dalam *Microsoft Office Macro Language* : VBA.

2.11.1 Kelebihan QUAL2Kw

QUAL2Kw memiliki beberapa kelebihan diantaranya:

- (1) Model QUAL2Kw mensimulasikan perpindahan dan perubahan sejumlah komponen kualitas air seperti temperatur, *carbonaceous biological oxygen demand* (CBOD), oksigen terlarut (DO), *phytoplankton* dan berbagai bentuk *nutrient phosphorus* dan *nitrogen*.
- (2) Aplikasi QUAL2KW dapat mensimulasikan beberapa komponen lain yang tidak secara tipikal dimasukkan di dalam fasilitas *software* secara umum. Secara khusus, model ini mensimulasikan pH, alkalinitas, padatan tersuspensi (*suspended solid*), bakteri patogen, dan alga dasar.
- (3) QUAL2Kw dapat mensimulasikan pengaruh penambahan polutan terhadap kualitas air sungai.
- (4) QUAL2Kw memasukkan suatu algoritma genetik untuk mengkalibrasi parameter-parameter laju kinetik secara otomatis (Kannel et al., 2011). Adanya fitur kalibrasi otomatis meringankan pemodel dari pekerjaan kalibrasi dengan metode *trial and error* manual yang memerlukan waktu lama.

2.11.2 Kekurangan *Software* QUAL2Kw

Selain memiliki kelebihan, penggunaan *software* QUAL2Kw juga memiliki beberapa kekurangan, diantaranya:

- (1) *Software* QUAL2Kw tidak dapat mensimulasikan konsentrasi logam dalam air.
- (2) Perhitungan *software* QUAL2Kw tidak didampingi perhitungan neraca massa otomatis yang diperuntukkan keakuratan beban pencemar dalam air permukaan.

2.12 Penelitian Sebelumnya

Di Indonesia sudah banyak penelitian daya tampung beban pencemaran air sungai, penelitian mengenai daya tampung beban pencemaran pada suatu sumber air telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Perbedaan yang terdapat pada setiap penelitian terdahulu adalah pada lokasi kajian dan parameter yang digunakan. Daftar penelitian-penelitian terdahulu serta perbandingannya yang telah dilakukan baik di dalam ataupun luar Indonesia dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Daftar Penelitian Yang Telah Dilakukan

NO	Peneliti	Tahun	Judul	Metode	Hasil Penelitian
1	Adam Rusnugroho dan Ali Masduqi	2012	Aplikasi QUAL2Kw sebagai Alat Bantu Perhitungan Daya Tampung Beban Pencemaran Kali Madiun (Segmen Kota Madiun)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Membagi Kali Madiun menjadi 6 segmen, dengan parameter adalah pH, temperatur, DO, BOD, COD, TSS, NO₃, NH₄, dan PO₄. 2. Data primer dan sekunder seperti kualitas dan kuantitas air, hidrolika, dan meteorologi daerah penelitian yang diinput dalam <i>worksheet</i> Qual2Kw. 3. Menghitung beban pencemaran, dan Membuat simulasi untuk kualitas air dengan parameter yang ditentukan 	Kali Madiun memiliki Daya Tampung yang tergolong besar yaitu untuk BOD 47785,06 kg/hari, COD 146513,35 kg/hari, TSS 2303693,57 kg/hari, NO ₃ 92232,57 kg/hari, NH ₄ 3518,49 kg/hari dan PO ₄ 5936,99 kg/hari.

2	Nelly Marlina, Kasam, dan Any Juliani	2015	Evaluasi Daya Tampung Terhadap Beban Pencemar Menggunakan Model Kualitas Air (Studi Kasus : Sungai Winongo, Yogyakarta)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pembagian Segmen dan Kualitas Sungai Winongo 2. <i>Trial</i> kalibrasi dan validasi model 3. Skenario pengembangan model 4. Perhitungan Daya Tampung Beban Pencemar parameter BOD 	<p>Berupa hasil konsentrasi rata-rata BOD di sepanjang Sungai Winongo yaitu 16 mg/L, DO sebesar 2,4 mg/L, pH sebesar 7 dan suhu 26⁰ C</p> <p>Kondisi konsentrasi BOD melebihi nilai baku mutu yang ditentukan sebesar 3 mg/L dan melebihi daya tampung.</p> <p>Memberikan rekomendasi berupa upaya pengurangan beban pencemar dengan pembuatan IPAL Komunal pada masing-masing kecamatan.</p>
---	---	------	---	---	--

3	Kannel, <i>et al.</i>	2007	<i>Application of Automated QUAL2Kw for Water Quality Modelling and Management in the Bagmati River, Nepal</i>	Kuantitatif, Pemodelan kualitas air untuk mengetahui kondisi kualitas air dan manajemen Bagmati. Parameter : DO, COD, Total Nitrat, Total Fosfat, dan Temperatur Simulasi model metode dengan <i>software QUAL2Kw</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Grafik hasil pemodelan kualitas air menggunakan Qual2Kw tiap parameter. 2. Strategi pengelolaan kualitas air Sungai Bagmati.
4	Lin, <i>et al</i>	2009	<i>Applying Water Quality Modeling to Regulating Land Development in a Watershed (a case study on the Kao-Ping Watershed, Taiwan)</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Spatial analisis 2. Metode QUL2E Sumber pencemar <i>non point</i> dengan “<i>Generalized Watershed Loading Function</i>” (GWLF) 	Diperolehnya zona lindung yang paling optimal yang kemudian digunakan untuk memperkirakan jumlah biaya kompensasi didasarkan pada tiga mekanisme, yaitu : <i>land banking, conservation</i>

5	Nugraha dan Cahyorini	2007	Identifikasi Daya Tampung Beban Cemaran BOD Sungai dengan Model QUAL2E (Studi Kasus Sungai Gung, Tegal – Jawa Tengah)	Observasi lapangan, pembagian segmen sungai, sampling kualitas air, pengumpulan data, Simulasi model QUAL2E.	<p><i>easement, dan transferable development rights.</i></p> <p>Simulasi menggunakan aliran minimum menunjukkan kualitas air sungai tidak sesuai dengan BMA kelas I dan kelas II. Pada km 1 sampai km 3 telah berada pada baku mutu air kelas III dengan 1,43 – 9,98 kg/hari. Sepanjang aliran sesuai dengan baku mutu air kelas IV dengan BOD 7,13 – 865,34 kg/hari</p>
---	-----------------------	------	---	--	--

6	Ginting, dkk	2009	Perhitungan Daya Dukung Wilayah dan Daya Tampung Sungai Kampar	Observasi lapangan, pengumpulan data, penentuan segmentasi sungai, penggunaan model Qual2kw, penentuan status mutu air.	Beban pencemar Sungai Kampar hulu telah melebihi baku mutu sebesar 0,27 Ton/jam untuk BOD dan 2,27 Ton/jam untuk COD. Di bagian tengah Sungai Kampar kelebihan beban pencemaran BOD sebesar 184,28 Ton/jam dan COD sebesar 138,55 Ton/jam. Dan bagian hulu BOD sebesar 2,74 Ton/jam dan untuk COD sebesar 0,05 Ton/jam
7	Wiwoho	2005	Model Identifikasi Daya Tampung Beban Cemar Sungai Dengan QUAL2E (Studi Kasus Sungai Babon)	Membagi sungai Babon menjadi 8 ruas, Menghitung beban pencemaran, membuat simulasi dan model kualitas air	Hasil daya tampung beban cemar Sungai Babon pada Km 0-6 melampaui kelas 1, Km 6-40 sudah melampaui kelas 1, 2, 3 dan 4.

8	Akhmad Darajati Setiawan	2015	Pemodelan Kualitas Air Untuk Penilaian Daya Tampung Beban Pencemaran Menggunakan <i>Software</i> “Qual2Kw” Di Sungai Bedog	Kuantitatif, Pemodelan kualitas air untuk mengetahui nilai beban pencemar dan daya tampung beban pencemar di Sungai Bedog. Parameter : BOD dan COD	<ol style="list-style-type: none"> 1. Grafik pemodelan kualitas air dengan Qual2Kw untuk tiap parameter 2. Informasi nilai beban pencemar yang harus dikurangi di Sungai Bedog
---	--------------------------------	------	--	---	--