

BAB II.

TINJAUAN PUSTAKA

A. EKOSISTEM PERAIRAN

Ekosistem adalah suatu sistem ekologi yang terdiri dari komponen abiotik (benda mati) dan biotik (organisme hidup) yang saling berinteraksi dan berintegrasi sehingga membentuk satu kesatuan. Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, ekosistem adalah tatanan unsur lingkungan hidup yang merupakan kesatuan utuh dan menyeluruh serta saling mempengaruhi dalam membentuk keseimbangan, stabilitas, dan produktivitas lingkungan hidup. Ekosistem terbagi menjadi dua yaitu ekosistem daratan (terrestrial) dan ekosistem perairan (aquatik). Ekosistem perairan terdiri dari ekosistem laut dan ekosistem perairan tawar. Ekosistem perairan tawar terbagi menjadi dua yaitu ekosistem perairan tawar mengalir (*lotic water*) dan menggenang (*lentic water*). Perairan tawar menggenang terbagi menjadi perairan tawar menggenang alami dan buatan. Perairan tawar menggenang alami contohnya situ dan danau, sedangkan perairan tawar menggenang buatan contohnya adalah waduk, yang dicirikan dengan tidak adanya aliran air atau aliran air lambat dan masa air terakumulasi dalam waktu yang lama. Pada ekosistem waduk terdapat faktor biotik (produsen, konsumen dan pengurai) dan faktor abiotik (air, matahari, curah hujan, oksigen) yang membentuk suatu hubungan sinergis dan saling mempengaruhi. Menurut Tessema et al. (2014), perkembangan kehidupan flora dan fauna di permukaan air dipengaruhi oleh berbagai kondisi lingkungan yang menentukan spesies serta kinerja fisiologis individu organisme. Berdasarkan aspek ekologi, waduk merupakan suatu ekosistem yang mencakup unsur air, kehidupan organisme perairan

serta lingkungan terestrial disekitarnya yang dipengaruhi oleh pasang surut perairan tersebut, dengan demikian dapat dikatakan bahwa waduk akan berpengaruh pada iklim dan keseimbangan ekosistem di lingkungannya (Siagian, 2012; Al Naggar et al., 2018).

Waduk sebagai salah satu bentuk ekosistem perairan tawar buatan (*artificial water-bodies*) mempunyai peran sosial dalam meningkatkan kesejahteraan manusia. Di Indonesia, sebagian besar waduk berasal dari hasil pembendungan sungai besar yang mengalir di daerah tersebut. Oleh karena itu semua proses alam maupun non alami yang terjadi di daerah tangkapan air dan daerah aliran sungai akan berpengaruh pada ekosistem waduk. Ekosistem waduk terdiri atas dua kesatuan bentang alam (*landscape*) yaitu daerah aliran sungai (DAS) dan daerah genangan waduk. Daerah aliran sungai (DAS) merupakan daerah yang dibatasi punggung-punggung gunung dengan air hujan yang jatuh pada daerah tersebut ditampung dan dialirkan melalui sungai – sungai kecil ke sungai utama kemudian ke badan air lainnya seperti danau atau waduk. Menurut PP RI No. 37 tahun 2012, DAS adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan. Hal tersebut akan mengakibatkan terjadinya perubahan ekosistem yang semula mengalir (*riverine*) menjadi ekosistem menggenang (*lacustrine*). Waduk dapat terbagi menjadi tiga zona yaitu *riverine* (zona sungai), transisi dan *lacustrine* (Ingole et al., 2018). Zona sungai merupakan hulu waduk yang umumnya sempit dan berkelok-kelok seperti sungai utamanya, tetapi mempunyai tingkat kecepatan arus lebih lambat karena membawa partikel-partikel

terlarut baik partikel organik maupun anorganik sehingga akan mengakibatkan tingkat penetrasi sinar matahari berkurang, hal ini juga menyebabkan penurunan produktivitas primer. Produktivitas primer adalah cadangan makanan bagi organisme heterotrof seperti jamur, bakteri dan konsumen pertama (zooplankton dan larva ikan). Pada zona *riverin* tidak ada stratifikasi suhu karena terjadi pencampuran secara sempurna. Zona transisi merupakan zona peralihan dari zona *riverine* ke *lakustrin*. Pada zona ini kecepatan arus lebih lambat dari zona *riverine* sehingga partikel-partikel sedimen yang terbawa akan mengendap (tergantung pada ukurannya), dan terjadi peningkatan lapisan sedimen di zona tersebut. Pada zona *transisi*, penetrasi cahaya matahari juga akan meningkat sehingga produktivitas primer meningkat, terdapat stratifikasi suhu tetapi tidak stabil. Zona *lacustrine* merupakan daerah waduk yang terdalam yang terletak di dekat bendungan dengan karakteristik aliran air cenderung tenang dan menggenang, mempunyai karakteristik seperti danau dalam hal penetrasi cahaya matahari, sehingga terjadi stratifikasi suhu. Ketiga zona tersebut mempunyai karakteristik fisik, kimia dan biologi yang berbeda.

Menurut Cole & Weihe (2015), ekosistem perairan tawar dapat dibedakan menjadi empat berdasarkan letaknya yaitu zona litoral, limnetik, profundal dan sublitoral. Zona litoral adalah pinggiran perairan yang masih bersentuhan dengan daratan, pada area tersebut masih terjadi pencampuran sempurna antara faktor fisik-kimia perairan. Zona limnetik adalah kolom air yang terbentang diantara zona litoral di satu sisi dan zona litoral di sisi yang lain, dan zona tersebut mempunyai berbagai variasi fisik-kimia maupun kehidupan lainnya, organisme yang hidup di zona tersebut antara lain plankton. Zona profundal merupakan dasar perairan yang dalam dan hanya menerima sedikit cahaya matahari, pada zona ini umumnya

dihuni oleh organisme bentik dan detritofor. Zona sublitoral merupakan zona peralihan antara zona litoral dan zona profundal, organisme yang ditemukan di zona ini selain bentik adalah organisme temporal yang hanya datang untuk mencari mangsa atau sumber makanan. Berdasarkan intensitas sinar matahari, perairan tawar terbagi menjadi tiga yaitu zona *trofogenik (fotik)*, *trofolitik* dan *afotik*. Zona *trofogenik* adalah bagian perairan yang dapat ditembus oleh sinar matahari sampai ke dasar perairan, organisme yang umum ditemukan adalah makrofita air. Zona *trofolitik*, adalah bagian waduk dengan kedalaman yang masih dapat ditembus sinar matahari sebesar 1%, yaitu kedalaman dengan laju proses fotosintesis dan proses respirasi organisme sama besar (kedalaman kompensasi). Zona *afotik* adalah zona waduk yang tidak dapat ditembus oleh sinar matahari (Hasan, et al. 2014). Daya tembus sinar matahari ke dalam perairan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu tingkat kekeruhan, densitas plankton, intensitas sinar matahari, cuaca dan arah datang sinar matahari.

B. PENCEMARAN WADUK

Waduk merupakan salah satu bentuk perairan menggenang (*lentik*) yang dibuat dengan cara membendung sungai. Pembuatan waduk pada umumnya bertujuan untuk irigasi, sumber air baku air minum, PLTA, pengendali banjir, pengembangan perikanan (budidaya maupun tangkap) serta pariwisata, waduk demikian disebut dengan waduk serbaguna (*multipurpose dam*). Pencemaran adalah hal yang menyebabkan air tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya karena masuknya atau dimasukkannya komponen berupa makhluk hidup, zat, energi atau komponen lainnya ke dalam air akibat aktifitas manusia (Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001). Pencemaran akan mengakibatkan penurunan kualitas air, oleh karena itu menurut Helder dan Islam (2015), perairan yang tercemar akan menimbulkan

permasalahan bagi masyarakat penggunaanya berupa penyakit kulit, diare, desentri, kolera, dan penyakit pernafasan. Pencemaran air dapat terjadi karena aktifitas alam dan manusia, aktifitas alam contohnya disebabkan karena adanya longsor, abrasi, erosi sedangkan pencemaran yang disebabkan karena aktifitas manusia contohnya karena adanya pembuangan limbah ke dalam perairan. Berdasarkan masuknya bahan pencemar ke perairan dapat diklasifikasikan ke dalam dua sumber yaitu dari sumber titik (*point source*) dan sumber menyebar (*non point source*). Pencemaran dari sumber titik dapat berasal dari buangan limbah industri atau domestik yang masuk ke perairan, sedangkan yang berasal sumber menyebar berasal dari sumber yang tidak diketahui yang menyebar melalui limpasan air tanah/ run off yang masuk ke dalam waduk. Sumber pencemaran dapat berasal dari kawasan pemukiman, kawasan pertanian maupun peternakan.

Pencemaran waduk merupakan salah satu masalah yang serius dan perlu segera dikendalikan, karena dapat mengakibatkan kerusakan lingkungan dan fungsi perairan tersebut. Pengendalian pencemaran diantaranya meliputi upaya-upaya pencegahan dan pengendalian, untuk mengembalikan fungsi perairan tersebut sesuai dengan peruntukannya. Upaya pengendalian tersebut dapat dilakukan melalui beberapa pendekatan diantaranya melalui regulasi, penetapan peraturan pemerintah, penetapan peraturan menteri lingkungan hidup, peraturan gubernur dan lain sebagainya. Selain pendekatan melalui fisik-kimia dan biologi, dilakukan pula pendekatan sosial ekonomi dan budaya, dan pendekatan teknologi yaitu melalui pembuatan IPAL (instalasi pengolahan air limbah). Pendekatan biologi yang dilakukan melalui identifikasi fito dan zooplankton dapat digunakan untuk analisis tingkat

pencemaran perairan berdasarkan karakter masing-masing spesies (kelimpahan jenis, keanekaragaman dan dominansi biota di perairan).

C. EUTROFIKASI

Kualitas lingkungan perairan berpengaruh pada karakteristik organisme yang hidup di perairan tersebut (Othman et al., 2014). Sebagai badan air yang bersifat dinamis, waduk memiliki kemampuan untuk melakukan perubahan. Perubahan tersebut terjadi karena proses alami maupun non alami. Faktor alami antara lain sedimentasi (pendangkalan), erosi dan eutrofikasi. Sedimentasi akan berpengaruh pada kondisi hidrodinamik, bathimetri dan volume waduk yang pada akhirnya akan berpengaruh pada kondisi fisika-kimia air waduk. Erosi dan sedimentasi akan berpengaruh pada produktivitas lahan pada daerah aliran sungai (DAS) bagian hilir atau muara sungai (Zeng, 2020; Shellberg, 2020). Pada akhirnya hal tersebut juga akan berpengaruh pada proses biologi di waduk antara lain berlangsungnya fotosintesa, pertumbuhan ikan, dan perkembangan fitoplankton (Abirhire, 2015). Pada dasarnya waduk mempunyai karakteristik yang berbeda dengan badan air lainnya, hal ini karena waduk akan menampung air secara terus-menerus dari sungai-sungai yang masuk. Air sungai akan membawa material organik maupun anorganik, yang pada akhirnya akan terakumulasi di dalam badan air tersebut. Material organik akan mengalami dekomposisi, dan proses tersebut akan berlangsung secara kontinyu. Hasil dekomposisi bahan organik yang berlebihan akan memicu proses eutrofikasi, artinya secara alami setiap waduk akan mengalami eutrofikasi beberapa waktu kemudian setelah penggenangan. Faktor kedua adalah faktor non alami yaitu aktifitas manusia, faktor antropogenik ini akan mempercepat terjadinya penurunan kualitas perairan. Menurut Roy et al. (2013), eutrofikasi dapat

dipercepat oleh adanya aktifitas manusia yang meningkatkan input nutrisi ke dalam badan air karena kegiatan industri, urbanisasi dan intensifikasi produksi pertanian.

D. INDIKATOR PENCEMARAN

Penilaian kualitas lingkungan perairan dapat diketahui berdasarkan pengukuran kualitas air yang meliputi faktor fisik-kimia dan biologi air, atau melalui perhitungan indeks pencemaran. Selain itu dapat pula diketahui berdasarkan penentuan status trofik perairan dan perhitungan daya tampung beban pencemaran air seperti yang tercantum dalam Peraturan Menteri Lingkunga Hidup Nomor 28 Tahun 2009.

1. Faktor Fisika-Kimia Air

Kualitas air merupakan penilaian kriteria mutu suatu perairan yang dapat diketahui melalui pengukuran parameter fisik-kimia dan biologi (Halim et al., 2018). Penggunaan parameter tersebut merupakan indikator penilaian adanya perubahan kondisi perairan, baik mengarah ke kondisi yang baik maupun ke arah buruk. Menurut Halder and Islam (2015), kualitas air dipengaruhi oleh aktivitas manusia, penurunan kualitas air dapat disebabkan oleh kenaikan urbanisasi, pertumbuhan penduduk, industri, perubahan iklim dan faktor lainnya. Pencemaran air merupakan ancaman serius terhadap kesejahteraan bumi maupun penduduknya. Menurut Meme et al. (2014), parameter fisik-kimia penting yang mempengaruhi lingkungan perairan adalah pH, nutrisi, suhu, salinitas, oksigen terlarut, BOD, COD, warna air, kecepatan arus, TSS dan TDS. Selanjutnya disebutkan pula bahwa parameter tersebut merupakan faktor pembatas bagi kehidupan organisme perairan. Pada umumnya penggunaan parameter kualitas air dilakukan untuk mengetahui

pencemaran suatu perairan. Parameter tersebut meliputi pH, kecerahan, suhu, DO, BOD, COD, TSS, TDS, kandungan fosfat, kandungan nitrat, dan plankton.

Berdasarkan PP no 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup, klasifikasi dan kriteria mutu air ditetapkan dalam 4 kelas air yaitu:

Kelas 1: yaitu air yang dapat digunakan secara langsung sebagai bahan baku air minum atau peruntukan lainnya yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut

Kelas 2: yaitu air yang dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, budidaya ikan air tawar, peternakan, irigasi pertanian, dan atau peruntukan lainnya yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Kelas 3: yaitu air yang dapat digunakan untuk budidaya ikan air tawar, peternakan, irigasi pertanian, dan atau peruntukan lainnya yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Kelas 4: yaitu air yang dapat digunakan untuk irigasi pertanian, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Ketentuan baku mutu air sesuai dengan kriteria kelas, merupakan suatu upaya batasan nilai parameter kualitas air yang sesuai dengan peruntukan. Parameter tersebut meliputi faktor biologi, dan fisik-kimia. Menurut Das dan Panda (2010), Pertumbuhan dan keragaman organisme perairan dipengaruhi oleh faktor biologi dan fisik-kimia perairan. Penentuan kriteria baku mutu air yang mencakup batasan faktor fisik-kimia dan biologi sesuai dengan kelas pada Peraturan Pemerintah nomor 82 Tahun 2001 tercantum dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kriteria Mutu Air Berdasarkan Kelas PPRI No. 82 Tahun 2001

Parameter	Satuan	Kelas			
		1	2	3	4
Fisika					
Temperatur	°C	Deviasi 3	Deviasi 3	Deviasi 3	Deviasi 5
Residu terlarut	mg/L	1000	1000	1000	2000
Residu tersuspensi	mg/L	50	50	400	400
Kimia anorganik					
pH		6 – 9	6 – 9	6 – 9	6 – 9
BOD	mg/L	2	3	6	12
COD	mg/L	10	25	50	100
DO	mg/L	6	4	3	0
Total fosfat sebagai P	mg/L	0,2	0,2	1	5
NO ₃ sebagai N	mg/L	10	10	20	20
NH ₃ -N	mg/L	0,5	-	-	-
Arsen	mg/L	0,05	1	1	1
Cobalt	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2
Barium	mg/L	1	-	-	-
Boron	mg/L	1	1	1	1
Selenium	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05
Cadmium	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01
Khrom (IV)	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,01
Tembaga	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,2
Besi	mg/L	0,3	-	-	-
Timbal	mg/L	0,03	0,03	0,03	1
Mangan	mg/L	0,1	-	-	-
Air raksa	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,005
Seng	mg/L	0,05	0,05	0,05	2
Khlorida	mg/L	600	-	-	-
Sianida	mg/L	0,02	0,02	0,02	-
Fluorida	mg/L	0,5	1,5	1,5	-
Nitrit sebagai N	mg/L	0,06	0,06	0,06	-
Sulfat	mg/L	400	-	-	-
Khlorin bebas	mg/L	0,03	0,03	0,03	-
Belerang sebagai H ₂ S	mg/L	0,002	0,002	0,002	-
Kimia organik					
Minyak dan lemak	µg/L	1000	1000	1000	-
Detergen sebagai MBAS	µg/L	200	200	200	-
Senyawa fenol	µg/L	1	1	1	-
BHC	µg/L	210	210	210	-
Aldrin/dieldrin	µg/L	17	-	-	-
Chlordane	µg/L	3	-	-	-
DDT	µg/L	2	2	2	2
Heptachlor & heptachlor epoxide	µg/L	18	-	-	-
Lindane	µg/L	56	-	-	-
Methoxychlor	µg/L	35	-	-	-

Endrin	µg/L	1	4	4	
Toxaphan	µg/L	5	-	-	-
Radioaktivitas					
Gross-A	Bq/L	0,1	0,1	0,1	0,1
Gross-B	Bq/L	1	1	1	1
Mikrobiologi					
Fecal coliform	Jml/100 ml	100	1000	2000	2000
Total coliform	Jml/100 ml	1000	5000	10000	10000

Derajat keasaman atau *potential of hydrogen* adalah derajat keasamaan yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan. Tingkat keasaman yang dimaksud adalah konsentrasi ion hidrogen (H^+) dalam pelarut air. pH dinyatakan sebagai $-\log_{10} [H^+]$. Nilai pH berkisar antara 1 sampai dengan 14, nilai pH < 7 dinyatakan asam, nilai pH = 7 dinyatakan netral, sedangkan nilai pH > 7 dinyatakan basa. Nilai pH 7 dinyatakan netral karena pada air murni ion hidrogen (H^+) terlarut (sebagai tanda keasaman) dan ion OH^- terlarut (sebagai tanda kebasaan) berada pada jumlah yang sama, yaitu 10^{-7} pada kesetimbangan : $H_2O = H^+ + OH^-$. Menurut Meme et al. (2014), pH yang direkomendasikan untuk kehidupan organisme akuatik adalah antara 6 – 9. Besarnya nilai pH pada suatu perairan dapat digunakan sebagai indikator adanya keseimbangan unsur-unsur kimia sehingga dapat mempengaruhi ketersediaan unsur hara yang dibutuhkan oleh organisme perairan. Setiap organisme perairan mempunyai kisaran toleransi pH untuk pertumbuhan dan reproduksi yang berbeda. Oleh karena itu, nilai pH diketahui untuk mengantisipasi terjadinya kematian organisme air akibat penurunan atau peningkatan nilai pH diatas ambang batas kehidupan organisme tersebut. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, nilai pH untuk kelas air 2 adalah 6 – 9, dan nilai tersebut merupakan nilai rentang yang tidak boleh kurang atau lebih dari nilai

yang tercantum. Derajat keasaman (pH), merupakan salah satu faktor yang sangat berperan dalam pertumbuhan plankton di perairan (Thirupathaiah et al., 2012), oleh karena itu pH juga berperan dalam menentukan distribusi temporal ikan sebagai konsumennya.

Suhu merupakan faktor lingkungan utama yang mengatur dan mempengaruhi aktivitas biologis dan kelarutan gas dalam air (Mohammad et al., 2015). Suhu air dipengaruhi oleh kedalaman, suhu udara dan atmosfer (Thirupathaiah et al., 2012). Kemampuan badan air dalam mendukung kelangsungan hidup organisme dapat diketahui berdasarkan konsentrasi oksigennya. Perairan yang tercemar ditunjukkan dengan konsentrasi oksigen yang lebih rendah (< 3) (Patil Shilpa et al., 2012).

Menurut Haris & Yusanti (2018), suhu air juga berhubungan dengan tingkat kelarutan oksigen. Kenaikan suhu air menyebabkan oksigen terlarut dalam air menurun, dan mengakibatkan peningkatan reaksi kimia. Peningkatan suhu menyebabkan peningkatan proses metabolisme dan respirasi organisme air, sehingga mengakibatkan peningkatan konsumsi oksigen (Afrianisa, 2020). Peningkatan suhu juga akan menyebabkan peningkatan dekomposisi bahan organik oleh mikroba. Stratifikasi suhu dapat terjadinya di badan air seperti halnya waduk. Stratifikasi suhu adalah perbedaan densitas antara air permukaan dan air di bagian dasar, keadaan tersebut menghalangi pencampuran vertikal (*vertikal mixing*) dalam waduk sehingga menyebabkan efek pelapisan yang stabil. Stratifikasi suhu dibedakan menjadi lapisan epilimnion, metalimnion dan hipolimnion (Azadi et al., 2020). Epilimnion adalah lapisan atas yang hangat. Suhu air tercampur sempurna oleh angin dan gelombang, sehingga menyebabkan

profil temperatur yang hampir sama. Zona epilimnion tiap waduk mempunyai kedalaman yang berbeda, dan berbeda pula pada waktu yang berbeda. Pada waduk yang dalam, kedalaman zona epilimnion dapat mencapai 20 m, sedangkan pada waduk dangkal hanya berkisar antara satu meter. Kondisi tersebut berbeda pada musim kemarau dan penghujan. Lapisan selanjutnya adalah lapisan metalimnion atau *thermocline*, pada zona ini temperatur turun secara drastis. Lapisan hipolimnion adalah lapisan air yang dekat dengan dasar perairan, dengan suhu air yang lebih dingin dari lapisan metalimnion. Stratifikasi suhu di danau tropis hanya berkisar antara 1 – 2°C sehingga pencampuran antara epilimnion dengan hipolimnion masih mungkin berlangsung setiap saat ketika terjadi gerakan. Setiap organisme perairan mempunyai kisaran suhu untuk pertumbuhan dan reproduksi yang berbeda. Suhu optimum untuk pertumbuhan fitoplankton adalah kurang dari 30°C (Mesquita et al, 2020). Suhu waduk akan mengalami fluktuasi harian maupun tahunan, hal tersebut tergantung pada intensitas cahaya matahari, luas naungan, letak geografis perairan tersebut (pegunungan atau dataran rendah), pola temperatur di lingkungan sekitarnya, cuaca, tingkat kedalaman perairan, kekeruhan dan kecepatan arus. Berdasarkan kisaran baku mutu air sesuai dengan kelas air 1 - 3 menurut PPRI No. 82 Tahun 2001 untuk parameter suhu air adalah deviasi 3 (artinya deviasi temperatur dari kondisi alaminya).

Oksigen terlarut merupakan salah satu komponen utama bagi kelangsungan hidup organisme air seperti plankton dan ikan. Konsentrasi oksigen terlarut dan pH perairan merupakan parameter penting yang menentukan tata ruang dan distribusi temporal organisme air terutama ikan (Banerjee et al., 2019; Song et al., 2020). Penipisan oksigen

dapat menekan proses respirasi, nafsu makan, perkembangan larva, hingga mengakibatkan kematian ikan (Abdel-Tawwab et al., 2019). Kelarutan oksigen semakin berkurang seiring dengan adanya peningkatan suhu (Rollinson et al., 2018; Audzijonyte et al., 2019). Tingkat kejenuhan oksigen memiliki efek positif pada pertumbuhan dan rasio konversi pakan (FCR) pada ikan (Prokešová et al., 2020)

Menurut Sawant and Chavan (2013), oksigen terlarut merupakan indikator status trofik dan besarnya eutrofikasi di ekosistem perairan tawar. Pertukaran oksigen di permukaan air dengan udara, tergantung pada suhu, tekanan parsial gas di atmosfer, konsentrasi garam terlarut, gelombang, kelarutan relatif, aktivitas fotosintesis tanaman dan respirasi oleh bakteri, tumbuhan, serta hewan akuatik. Oksigen juga mempunyai peranan dalam proses penguraian bahan organik oleh mikroorganisme dalam kondisi aerobik. Oksigen terlarut mengalami fluktuasi harian dan musiman, hal tersebut tergantung pada pencampuran dan pergerakan massa air, aktifitas fotosintesis dan respirasi, serta limbah yang masuk ke dalam perairan tersebut (Banerjee, et al., 2018). Konsentrasi oksigen pada zona *fitik*, lebih tinggi dibanding zona *trofolitik* dan *afotik* karena pada zona *fitik* sinar matahari mampu menembus hingga ke dasar perairan, sehingga aktifitas fotosintesis pada zona tersebut berlangsung lebih baik. Sedangkan pada zona *trofolitik*, intensitas sinar matahari yang mampu menembus bagian zona tersebut hanya sebesar 1%. Menurut Astuti & Tjahjo (2020), pencemaran suatu perairan diindikasikan dengan kandungan oksigen terlarut lebih tinggi di musim penghujan daripada di musim kemarau. Kriteria pencemaran berdasarkan kandungan oksigen terlarut, kategori perairan tercemar ringan adalah apabila kandungan oksigen sebesar 4,5

– 6,5 mg/l sedangkan kategori perairan tercemar berat apabila kandungan oksigen < 2 mg/l (Piranti et al., 2018).

Kriteria kualitas air menggunakan konsentrasi oksigen terlarut dapat pula dikategorikan berdasarkan indeks saprobitas, yaitu:

- Oligosaprobik : perairan dengan konsentrasi oksigen tinggi, dan tidak terdapat bahan pencemar.
- β -mesosaprobik: perairan dengan konsentrasi oksigen masih tinggi, dengan bahan pencemar masih sedikit.
- α -mesosaprobik: perairan dengan konsentrasi oksigen rendah – sedang, tingkat pencemaran sedang.
- Polisaprobik: perairan dengan konsentrasi oksigen sangat rendah, tingkat pencemaran berat.
- Antisaprobik: perairan dengan konsentrasi oksigen sangat rendah – konsentrasi oksigen terlarut nol, tingkat pencemaran sangat tinggi sehingga tidak ada organisme yang hidup di perairan tersebut.

Biochemical Oxygen Demand (BOD) merupakan jumlah oksigen biokimia yang diperlukan oleh mikroorganisme (bakteri, jamur) untuk mendegradasi bahan organik pada kondisi aerobik (Sawant and Chavan, 2013). Bahan organik yang ada digunakan sebagai sumber makanan yang energinya diperoleh dari proses oksidasi, dengan demikian BOD tidak menunjukkan jumlah bahan organik yang sesungguhnya. Semakin banyak bahan organik yang terdapat di dalam perairan, semakin besar kandungan BOD nya, dan semakin

rendah kandungan oksigen terlarutnya. Bahan organik yang tinggi dapat berasal dari dalam waduk berupa feses dan sisa pakan dari aktifitas budidaya KJA, sedangkan dari DAS dan DTA berasal dari aktifitas pertanian, peternakan dan limbah pemukiman. Pengujian BOD didasarkan pada reaksi oksidasi bahan organik dengan oksigen yang berlangsung karena aktifitas bakteri pada kondisi aerobik, dan hasil oksidasi berupa CO₂, NH₄ dan air. Reaksi tersebut membutuhkan waktu 2 hari untuk mencapai 50%, 5 hari untuk mencapai 75% dan 20 hari untuk mencapai 100%. Berdasarkan hal tersebut, pengujian BOD dapat digunakan sebagai dasar pendugaan terjadinya pencemaran oleh bahan organik. Menurut

Kandungan BOD di Waduk Jatibarang rata-rata sebesar 1,5 – 2,7 mg/l (Susanti et al., 2018), sedangkan di Waduk Jatiluhur berkisar antara 6,3 – 14 mg/l. Kriteria baku mutu air untuk kelas 2 berdasarkan PPRI No. 82 Tahun 2001, untuk parameter BOD adalah 3 mg/l artinya Waduk Jatibarang masih berada dalam kisaran memenuhi kriteria atau belum terjadi cemar organik, sedangkan di Waduk Jatiluhur telah tercemar bahan organik yang mudah terurai.

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan dalam proses oksidasi kimia menggunakan oksidator kuat seperti kalium bikromat (K₂Cr₂O₇). Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa pengujian COD dilakukan untuk mengetahui jumlah bahan organik yang dapat dioksidasi di dalam air menggunakan senyawa kimia sebagai sumber oksigen. Nilai yang diperoleh menyatakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk proses oksidasi terhadap total senyawa organik, baik yang mudah diuraikan maupun yang sukar atau tidak dapat diuraikan secara biologis (Yerima et al.,

2018). Hasil oksidasi biologis berupa CO₂ dan H₂O, dan banyak bahan organik yang tidak terurai dengan cepat secara biologi, namun keberadaannya mengakibatkan penurunan kualitas perairan. Tujuan pengujian COD dilakukan untuk mengetahui konsentrasi bahan organik yang masuk ke perairan dan tidak terurai secara biologi dengan cepat. Nilai COD lebih tinggi dari nilai BOD₅, karena bahan organik yang stabil pada reaksi biologi dapat teroksidasi melalui pengujian COD, tingginya konsentrasi COD mengindikasikan tingginya bahan organik yang tidak dapat terurai secara biologi (Zhang, et al., 2017). Kriteria baku mutu air untuk kelas 2 berdasarkan PPRI No. 82 Tahun 2001, untuk parameter COD sebesar 25.

Padatan tersuspensi diantaranya terdiri dari pasir dan lumpur akibat adanya erosi serta jasad renik yang terbawa aliran. Nilai TSS yang tinggi akan mempengaruhi tingkat penetrasi cahaya matahari kedalam perairan. Rendahnya penetrasi cahaya matahari akan mempengaruhi proses fotosintesis fitoplankton, kondisi tersebut akan mengakibatkan turunnya kandungan oksigen terlarut di perairan. Padatan tersuspensi dapat mengakibatkan kekeruhan dan menurunkan penetrasi sinar matahari ke dalam perairan sehingga menurunkan laju fotosintesa (Yusuf et al., 2019). Kebutuhan cahaya untuk proses fotosintesis algae di daerah tropis pada musim penghujan menjadi rendah karena *inflow* air ke waduk keruh sehingga menghambat proses fotosintesis (Dos Santos & Ferragut, 2019). Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001, nilai padatan tersuspensi yang disyaratkan untuk kelas air 2 sebesar 50 mg⁻¹).

Total Dissolved Solids (TDS) adalah jumlah kandungan padatan terlarut yang lolos melewati filter dengan ukuran 2 µm atau lebih kecil. TDS merupakan konsentrasi jumlah

ion bermuatan positif (kation) dan bermuatan negatif (anion) di dalam air (Rusydi, 2918). Padatan terlarut di perairan umumnya berupa bahan anorganik yang berupa ion-ion (Aisyah, 2020). TDS di waduk berasal dari kegiatan pertanian, limbah domestik dan industri di DTA dan DAS (Sasakova et al,2018).

Nitrat adalah bentuk nitrogen anorganik yang terdapat di perairan yang siap dimanfaatkan oleh fitoplankton dan makrofita air untuk pertumbuhannya. Nitrat berasal dari hasil penguraian organisme yang mati. Peningkatan ketersediaan nitrat di suatu perairan akan meningkatkan kesuburan perairan tersebut. Menurut Dutta et al., (2016) kondisi kesuburan perairan berbanding lurus dengan konsentrasi nitrat artinya apabila kandungan nitrat di suatu perairan rendah maka kelimpahan fitoplankton rendah, demikian pula sebaliknya. Kondisi kesuburan perairan dapat dibagi menjadi tiga berdasarkan konsentrasi nitrat, yaitu perairan kurang subur (0-1 mg/l), perairan sedang, 1-3 mg/l), dan perairan sangat subur (>3 mg/l) (Liu et al., 2018).

Fosfor merupakan unsur hara pembatas pemicu terjadi proses eutrofikasi, apabila kadar nitrogen lebih dari delapan kali kadar fosfor (UNEP-IETC/ILEC, 2001 dalam Permen LH No. 28 Th. 2009). Fosfor adalah nutrisi tanaman terpenting kedua setelah nitrogen dan penting untuk pertumbuhan optimal tumbuhan dan hewan, namun pada tingkat konsentrasi tertentu, biasanya dianggap sebagai polutan (Badamasi et al., 2019) Fosfor merupakan nutrisi pembatas kriteria status trofik pada ekosistem perairan tawar (oligotrofik, mesotrofik dan eutrofik), tergantung pada konsentrasi P pada kolom air (Carey & Rydin, 2011; Bartoszek & Tomaszek. 2011). Menurut Mamun et al (2020), terdapat korelasi positif antara klorofil bentik dengan konsentrasi nutrisi pada kolom air

terutama total N dan total P. Di perairan, phosphor terdapat dalam bentuk fosfat, yang terdiri atas fosfat terlarut dan fosfat tidak terlarut. Fosfat merupakan unsur hara penyusun klorofil pada tumbuhan, dan penyusun protein dalam ATP dan ADP pada hewan. Fosfat terlarut terdiri atas fosfat organik dan anorganik, fosfat anorganik terdiri dari ortofosfat dan polifosfat. Di perairan, senyawa fosfat dalam bentuk fosfat organik dan anorganik (Li et al., 2019). Fosfat organik dapat berasal dari limbah rumah tangga dan fosfat anorganik dapat berasal dari deterjen (sabun cuci) dan pupuk (Ramachandra et al., 2019). Perairan dikatakan dalam kondisi eutrofik apabila kandungan fosfat pada perairan tersebut berada pada kisaran 0,03 – 0,1 mg/l. Keberadaan fosfat terlarut di perairan pada kondisi normal pada umumnya rendah dan terdapat dalam bentuk ortofosfat. Pada umumnya tumbuhan air hanya mengandung 0,09% dari berat basah. Kadar ortofosfat perairan danau diklasifikasikan menjadi tiga yaitu oligotrofik (0,003 – 0,01 mg/l), mesotrofik (0,11 – 0,03 mg/l) dan eutrofik (0,031 – 0,1 mg/l).

2. Faktor Biologi

Menurut Mohammad et al. (2015), dampak perubahan kualitas air tercermin dalam struktur komunitas biotik, dengan adanya kematian pada spesies yang rentan, dan spesies yang sensitif berlaku sebagai indikator kondisi kualitas air suatu perairan. Menurut Abirhire (2015), plankton dapat digunakan sebagai indikator kualitas perairan. Plankton merupakan organisme renik perairan yang pergerakannya dipengaruhi oleh massa air dan apabila mampu bergerak, pergerakannya sangat lemah. Plankton merupakan salah satu organisme perairan yang mempunyai kemampuan toleransi terhadap kualitas air seperti pH, DO, suhu dan lainnya hal tersebut akan berpengaruh pula pada kelimpahan dan

keanekaragamannya (Zhao et al., 2019). Plankton terdiri dari plankton hewani (zooplankton) dan plankton nabati (fitoplankton). Berdasarkan perbedaan ukurannya fitoplankton dapat digolongkan menjadi tiga yaitu pico fitoplankton (0,2 – 2 μm), nano fitoplankton (2 – 20 μm) dan mikro fitoplankton (20 – 200 μm). Fitoplankton merupakan salah satu bagian utama ekosistem akuatik, mikroalga tersebut menjadi produsen primer yang mendukung pertumbuhan makrofita air dan organisme perairan lainnya, dengan menghasilkan oksigen melalui proses fotosintesis (Ajayan and Parameswara, 2014). Fitoplankton merupakan komponen utama rantai makanan sehingga keberadaan fitoplankton merupakan salah satu indikator kesuburan perairan (Ochocka & Pasztaleniec, 2016). Menurut Sihombing et al. (2015), ketersediaan unsur hara berpotensi dalam perkembangan dan keberadaan fitoplankton yang mempengaruhi kesuburan perairan. Menurut Muchtar (2012), fosfat, nitrat, dan silikat merupakan unsur hara yang diperlukan dan mempunyai pengaruh terhadap proses pertumbuhan dan perkembangan hidupnya. Namun demikian meningkatnya kesuburan suatu perairan dapat terjadi akibat pemberian pakan pada kegiatan budidaya ikan (Das et al., 2018).

Salah satu cara untuk mengetahui kesuburan suatu perairan adalah dengan melakukan evaluasi terhadap fitoplankton berdasarkan Indeks Keseragaman, Indeks Keanekaragaman, Indeks Dominansi, Indeks Saprobik (SI) atau Tropik Saprobik Indeks (TSI). Menurut Anggoro et al. (2013), kelimpahan fitoplankton pada suatu perairan dapat digunakan untuk mengetahui kondisi perairan tersebut menggunakan indeks saprobitas berdasarkan kriteria kesuburan (Tropik Saprobik Indeks) dan kriteria pencemaran (Saprobik Indeks). Nilai saprobitas suatu perairan merupakan suatu kriteria tingkatan

pencemaran berdasarkan pengukuran unsur hara (Suryanti, 2008). Sedangkan menurut Siagian (2012), nilai indeks keanekaragaman yang bervariasi, dapat terjadi karena jumlah jenis dan jumlah individu/jenis yang berbeda sehingga nilai indeks keanekaragaman juga berbeda. Pengkayaan unsur hara di perairan akan berdampak positif, yaitu meningkatnya produksi fitoplankton sehingga mampu mendukung potensi produksi perikanan (Novita et al., 2015). Namun demikian sampai pada batas tertentu hal tersebut akan mengakibatkan dampak negatif, yaitu terjadinya penurunan konsentrasi oksigen terlarut, penurunan tingkat keragaman organisme perairan bahkan meningkatnya perkembangan biomassa fitoplankton penghasil toxin (*Harmful Algal Blooms* atau HABs).

Waduk dan danau mempunyai kontribusi yang sangat besar pada produktivitas primer dari ekosistem perairan. Produktivitas primer merupakan indikator yang sensitif dan akurat terjadinya proses eutrofikasi (Ochocka & Pasztaleniec, 2016; Yusuf et al., 2019), dan cahaya merupakan faktor pembatas utama disamping unsur hara (Harpole, 2017). Menurut Feresin et al. (2010), produktivitas primer juga berhubungan dengan kedalaman dan perilaku thermal danau. Produktivitas primer merupakan karbon organik (C) per satuan waktu hasil fotosintesa klorofil dari tumbuhan hijau yang dirombak menjadi energi kimia (Yulianto et al., 2014). Produktivitas primer kotor merupakan jumlah total fotosintesis yang dilakukan oleh organisme autotrof per satuan waktu tertentu, sedangkan produktivitas primer bersih merupakan besarnya sintesis bahan organik selama proses fotosintesis dikurangi besarnya respirasi yang berlangsung pada keadaan terang dan gelap per satuan waktu tertentu. Penentuan produktivitas primer dapat dilakukan menggunakan beberapa metode. Pengukuran produktivitas primer dapat dilakukan menggunakan

metode oksigen, khlorofil dan C14. Penggunaan metode oksigen menggunakan botol gelap-terang telah banyak dilakukan meskipun banyak kekurangan karena hasilnya terbatas dalam botol. Mosharov et al. (2016) memperkenalkan metode pengukuran produktifitas primer yang terintegrasi dalam kolom air menggunakan hubungan fotosintesis-iradiasi untuk fitoplankton permukaan. Oleh karena itu karena banyaknya model perhitungan maka hasil yang diperoleh akan berbeda-beda. Berdasarkan laju produktivitas primernya perairan terbagi menjadi tiga kategori kesuburan. Produktivitas primer sebesar 15-50 g C/m²/tahun digolongkan sebagai perairan oligotrofik, produktivitas primer 50-150 g C/m²/tahun digolongkan sebagai perairan mesotrofik, Produktivitas primer sebesar 150-500 g C/m²/tahun digolongkan perairan eutrofik.

Biomassa fitoplankton adalah berat total fitoplankton per volume atau luas area perairan yang dapat dilakukan dengan menggunakan satuan mg/m², ton/ha, kg/ha, dan µg/l. Beberapa metode yang dapat digunakan untuk menghitung biomassa fitoplankton antara lain adalah metode ATP (Adenosine Triphosphate), Optical density, POC (Particulate Organic Matter), dan klorofil-a. Klorofil-a merupakan pigmen yang terdapat pada semua jenis tumbuhan termasuk fitoplankton dan komponen tersebut terlibat langsung dalam proses fotosintesis (Manurung et al., 2015). Kelimpahan biomassa fitoplankton tidak dipengaruhi oleh waktu retensi air, tetapi berkorelasi positif dengan konsentrasi fosfor namun tidak dengan minimnya intensitas cahaya (Bergström, & Karlsson, 2019). Distribusi biomassa outotrof tersebut dapat terjadi secara temporal maupun spasial. Distribusi temporal dipengaruhi oleh musim dan sinar matahari yang

berlangsung setiap hari seperti halnya fitoplankton yang bermigrasi vertikal kebawah apabila intensitas sinar matahari menurun (sore/malam hari) dan bermigrasi ke atas apabila sinar matahari mulai meningkat (pagi-siang) (Kang et al., 2020).

Menurut Manurung et al. (2015), pada perairan yang mempunyai nilai pH rendah seperti halnya di Danau Lait dengan nilai pH 5, maka hanya ditemukan beberapa genera yang tahan terhadap kondisi tersebut seperti genera dari divisi *Chlorophyta* dan *Chrysophyta*. Sedangkan spesies fitoplankton yang sangat merugikan bagi kelangsungan hidup organisme perairan dan bahkan bagi kesehatan manusia adalah *Cyanobacteria*. Menurut Pearl (2014), blooming cyanobakteria akan mengakibatkan kondisi oksigen terlarut rendah yaitu anoksia dan hipoxia dengan diproduksi cyanotoxin. Pada proses fotosintesis, sinar matahari merupakan sumber energi yang berkualitas dan kuantitasnya tergantung pada waktu penyinaran, oleh karenanya komponen tersebut merupakan faktor abiotik utama. Periode inkubasi berpengaruh terhadap nilai produktivitas primer fitoplankton (Suardiani et al., 2018).

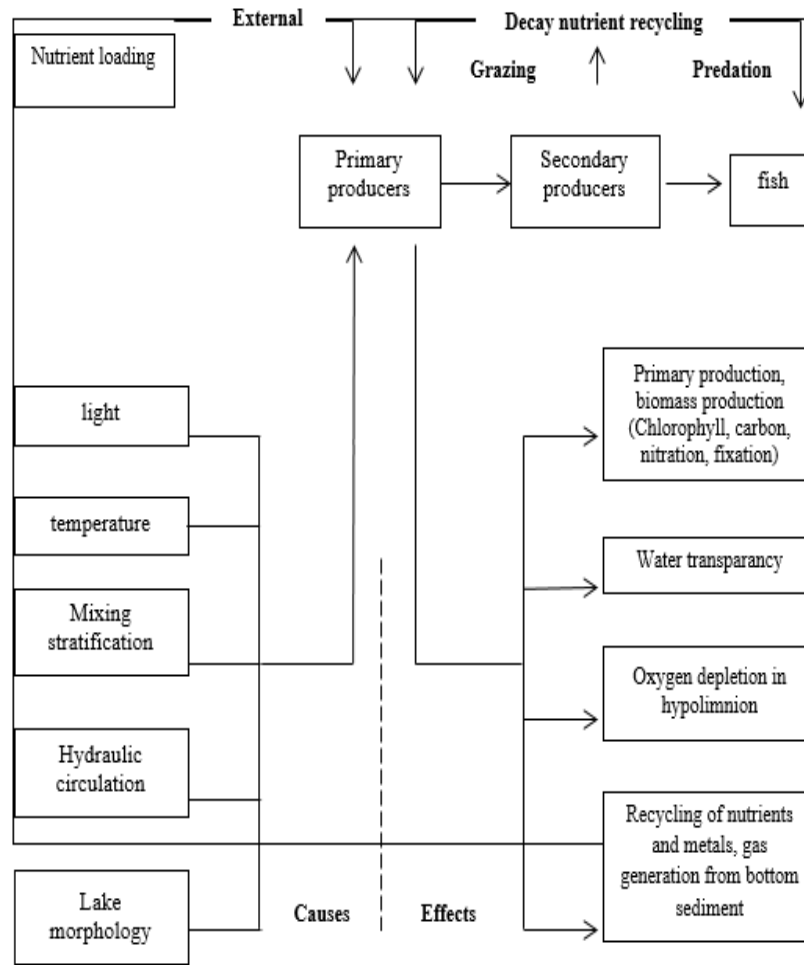
Komponen utama penyusun fitoplankton adalah diatom. Diatom termasuk dalam algae kelas Bacillariophyceae yang memiliki dinding sel silicious yang dapat diawetkan dalam sedimen, sehingga dapat memprediksi kondisi suatu perairan di masa lampau (Soeprbowati, et al., 2018). Oleh karena itu, diatom sangat berguna dalam studi lingkungan karena distribusi spesiesnya dipengaruhi oleh kualitas air (Sheibley et al., 2014; Chen et al., 2020). Salah satu unsur utama yang berpengaruh pada pertumbuhan diatom adalah silikat. Menurut Wang et al. (2013), terdapat korelasi positif antara konsentrasi silikat terlarut dengan kelimpahan diatom.

3. Status Trofik

Eutrofikasi merupakan proses alami yang dapat dipercepat dengan peningkatan konsentrasi/kelarutan nutrisi penting seperti nitrogen dan fosfor dalam badan air (Roy et al. 2013). Proses tersebut terjadi secara alami tetapi dalam banyak kasus lebih diperparah oleh aktifitas antropogenik di daerah tangkapan air (Dokulil, 2014). Eutrofikasi tersebut dapat terjadi karena peningkatan bahan organik khususnya nitrogen dan fosfor, tetapi dapat pula karena pasokan karbon organik yang terurai berlebihan (Li et al., 2016). Menurut Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 28 Tahun 2009, eutrofikasi disebabkan oleh peningkatan kandungan unsur hara (nutrien) terutama nitrogen (N) dan fosfor (P) pada air danau dan/atau waduk. Namun demikian mekanisme eutrofikasi tidak sepenuhnya dapat dipahami, tetapi salah satu faktor utamanya adalah adanya peningkatan unsur hara. Kondisi tersebut merupakan permasalahan utama dalam kerusakan air dan sebagai dasar dalam pengelolaan perairan. Eutrofikasi merupakan kondisi perairan yang tidak diinginkan karena menyebabkan penurunan kualitas air dan mengakibatkan dampak ekonomi yang signifikan (Zhang et al., 2019). Penggunaan air yang telah mengalami eutrofik berpotensi mengakibatkan gangguan kesehatan karena adanya racun yang dihasilkan oleh beberapa spesies alga, selain adanya perubahan warna dan rasa (Wurtsbaugh et al., 2019). Dampak yang diakibatkan dari eutrofikasi pada biota perairan tawar antara lain pada perubahan struktur dan populasi plankton, hingga peningkatan populasi spesies fitoplankton yang toksik, dan kematian ikan (Lin et al., 2020). Oleh karena itu eutrofikasi merupakan permasalahan lingkungan yang dapat pula dikatakan sebagai pencemaran perairan. Sumber pencemar (polutan) dapat berasal dari dalam

maupun dari luar perairan. Sumber N dan P selain berasal dari atmosfer, juga berasal dari aktifitas manusia yang membuang limbah ke sungai, dengan demikian konsentrasi N dan P di sungai, danau dan laut juga dipengaruhi oleh kepadatan populasi manusia, kepadatan populasi ternak dan penggunaan lahan (Das et al., 2018). Menurut Fisher (2013), terdapat hubungan positif antara konsentrasi total P dan total N dengan klorofil-a fitoplankton di perairan Waduk Hyrum, Utah dan diasumsikan bahwa sumber nutrisi tersebut berasal dari aktifitas antropogenik.

Proses eutrofikasi dapat disebabkan karena peningkatan nutrisi yang berasal dari sumber titik (*point source*) dan non titik (*non point sources*), baik dari dalam (*internal loading*) maupun dari luar (*eksternal loading*) waduk. *Point source* dapat berupa air limbah domestik maupun industri, limpasan (*run off*) dan lindi dari tempat pembuangan sampah, limpasan dan infiltrasi dari peternakan, limpasan dari kegiatan pertambangan, selokan sanitasi, dan limpasan dari situs konstruksi dengan luas > 2 ha. Sedangkan Sumber non titik (*non point source*), berasal dari limpasan permukaan tanah wilayah pertanian, lindi dari septik tank, limpasan dari tambang ditinggalkan, deposisi atmosfer di atas permukaan air, kegiatan di darat yang menghasilkan kontaminan, seperti penebangan hutan, konversi lahan basah, pembangunan dan pengembangan tanah atau saluran air. Dampak dan penyebab eutrofikasi secara garis besar dapat diketahui lebih jelas dalam skema pada Gambar 2.1



Sumber. UNESCO/WHO/UNEP.1996

Gambar 2.1 Skema Penyebab dan dampak eutrofikasi

Eutrofikasi diklasifikasikan dalam empat kategori status trofik yaitu:

- Oligotrof merupakan status trofik suatu perairan (danau dan/atau waduk) dengan mengandung unsur hara rendah, kondisi ini menunjukkan kualitas air perairan tersebut masih bersifat alami dan belum tercemar oleh komponen unsur hara khususnya nitrogen dan fosfor.

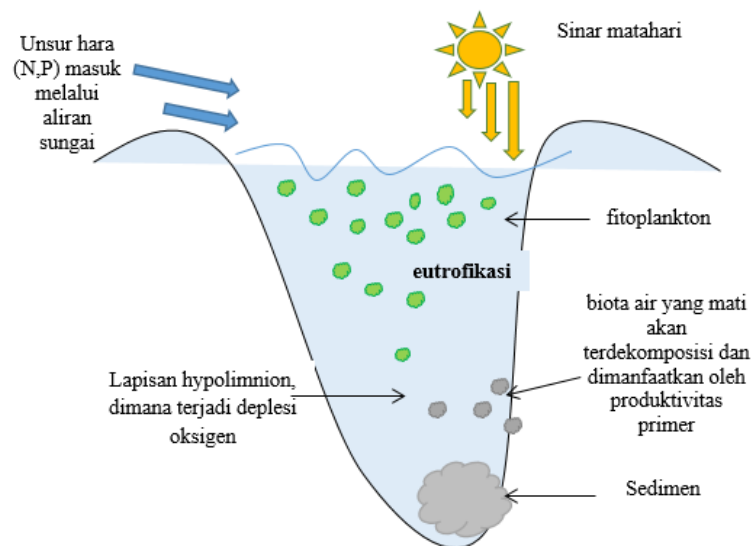
- Mesotrof merupakan status trofik suatu perairan (danau dan/atau waduk) dengan kandungan unsur hara sedang, status ini menunjukkan adanya peningkatan kandungan nitrogen dan fosfor tetapi masih berada pada batas kisaran yang belum menunjukkan adanya indikasi pencemaran air.
- Eutrof merupakan status trofik suatu perairan (danau dan/atau waduk) dengan kandungan unsur hara tinggi, kondisi ini menunjukkan perairan tersebut telah mengalami peningkatan kadar nitrogen dan fosfor sehingga melebihi batas kisaran toleransi perairan tersebut, sehingga perairan tersebut dapat dikategorikan sebagai perairan yang tercemar.
- Hipereutrof/Hipertrof merupakan status trofik suatu perairan (danau dan/atau waduk) dengan kandungan unsur hara sangat tinggi, kondisi ini menunjukkan perairan tersebut telah tercemar berat akibat adanya peningkatan unsur hara nitrogen dan fosfor.

Air dikatakan eutrofik apabila konsentrasi total fosfor (TP) dalam air berada dalam rentang 35 – 100 µg/L. Terjadinya eutrofikasi pada suatu perairan tergenang (danau atau waduk) dapat diketahui melalui beberapa indikator, antara lain terjadinya penurunan kandungan oksigen terlarut pada zona hipolimnion; terjadinya peningkatan kandungan nitrogen (N) dan fosfor (P) pada kolom air; terjadinya penurunan transparansi cahaya; terjadinya peningkatan padatan tersuspensi khususnya yang mengandung bahan organik.

Penentuan status trofik merupakan salah satu langkah awal dalam pengelolaan perairan secara menyeluruh, mengingat kriteria status trofik salah satunya merupakan manifestasi respon dari pengaruh tekanan antropogenik. Status trofik adalah pengkayaan

nutrien yang sangat berpengaruh pada faktor sosial dan ekologis danau (Kumar et al., 2019; Lin et al., 2020). Pada Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 28 Tahun 2009, status trofik adalah status kualitas air danau atau waduk berdasarkan kadar unsur hara dan kandungan biomassa fitoplankton atau produktivitasnya

Status trofik perairan dicirikan dengan komposisi kandungan unsur N (nitrogen) dan P (fosfor), serta konsentrasi klorofilnya (Roy, et al., 2013). Disamping itu faktor yang berhubungan dengan produksi autotrofik, termasuk biomassa alga dan transparansi air (Wurtsbaugh et al., 2019). Menurut Vidović et al (2015), status trofik ditentukan dari tiga parameter yaitu Total P, kecerahan air (SD), dan klorofil-a. Status trofik diindikasikan dengan adanya perubahan konsentrasi klorofil-a, transparansi dan nutrien (P dan atau N) Barki & Singa (2014). Status trofik, biomassa fitoplankton, dan faktor fisika-kimia merupakan aspek penting yang dapat digunakan untuk menetapkan kondisi atau status perairan danau atau waduk (Molisani et al., 2010). Mekanisme eutrofikasi tersaji pada Gambar 2.2. Pertumbuhan dan biomassa fitoplankton di waduk dipengaruhi oleh faktor fisik dan kimia perairan tersebut (Maraşlıoğlu and Gönülol, 2014). Disamping itu beberapa faktor lainnya seperti curah hujan, penguapan, laju aliran, stratifikasi, penggunaan air, konsentrasi padatan tersuspensi, dan keanekaragaman flora-fauna dapat mempengaruhi pertumbuhan fitoplankton serta pada keadaan *steady state*. (Maraşlıoğlu and Gönülol, 2014).



Sumber : Elmaci et al (2009)

Gambar 2.2 Mekanisme terjadinya eutrofikasi

Namun demikian aktifitas manusia yang berpengaruh pada kandungan unsur hara (nutrien) serta dengan adanya sinar matahari yang masuk ke dalam ekosistem perairan, akan sangat mempengaruhi status trofik suatu perairan (). Kriteria status trofik danau berdasarkan konsentrasi nitrogen, fosfor, klorofil-a dan kecerahan menurut tersaji pada Tabel 2.3

Tabel 2.2 Kriteria Status Trofik Perairan

Status Trofik	TN ($\mu\text{g/l}$)	TP ($\mu\text{g/l}$)	Klorofil-a ($\mu\text{g/l}$)	Kecerahan (m)
Oligotrofik	≤ 650	< 10	< 2.0	> 10
Mesotrofik	≤ 750	< 30	< 5	> 4
Eutrofik	≤ 1.900	< 100	< 15	> 2.5
Hypereutrofik	> 1.900	≥ 100	≥ 200	< 2.5

Sumber: KLH 2009; Modifikasi OECD 1982, MAB 1989; UNEP-ILEC, 2001

Eutrofikasi dapat dievaluasi dengan menentukan nilai nutrisi yang membatasi dan dengan menghitung indeks status trofik (Suryani et al., 2017; Smaoune et al., 2020). Status

Trofik State Indeks (TSI) didasarkan pada beberapa faktor biologi, kimia dan fisik. TSI merupakan metode yang paling cocok dan dapat diterima untuk mengevaluasi danau dan waduk eutrofikasi (Ivanković et al., 2018; Kumar et al., 2019; Klippel et al., 2020).

Molisani et al (2010), menggunakan Trophic State Indeks (TSI) modifikasi dari TSI Carlson, menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{TSI (SRP)} = 10 \left[6 - \frac{\ln-(21,67/\text{SRP})}{\ln 2} \right] \quad (1)$$

$$\text{TSI (SD)} = 10 \left[6 - \frac{0,64 + \ln \text{SD}}{\ln 2} \right] \quad (2)$$

$$\text{TSI (Chl)} = 10 \left[6 - \frac{2,04 - 0,695 \ln \text{Chl}}{\ln 2} \right] \quad (3)$$

$$\text{TSI (TP)} = 10 \left[6 - \frac{\ln-(80,32/\text{TP})}{\ln 2} \right] \quad (4)$$

Keterangan:

SD = Secchi Disk (m)

Chl = Chlorophyll-a ($\mu\text{g/l}$)

TP = Total Phosphore ($\mu\text{g/l}$)

SRP = Soluble Reactive Phosphorus ($\mu\text{g/l}$), dengan batasan,

Oligotrof = $\text{TSI} < 44$

Mesotrof = $44 < \text{TSI} < 54$

Eutrof = $\text{TSI} > 54$

Menurut Roy et al. (2013), tidak ada kriteria evaluasi yang sempurna untuk menilai eutrofikasi suatu perairan. Namun umumnya evaluasi menggunakan parameter fisik-kimia

terutama konsentrasi unsur hara N dan P, klorofil algae dan transparansi air. Meskipun ada banyak perbedaan tetapi konsentrasi N dan P adalah dasar utamanya (Roy et al. 2013).

Total nitrogen (TN) merupakan hasil penjumlahan seluruh nitrogen organik. Kandungannya yang berlebihan dapat menimbulkan permasalahan pencemaran. Nitrogen yang terdapat di perairan antara lain berasal dari proses presipitasi, fiksasi nitrogen dan limpasan dari daratan dan air tanah. Di alam terdiri dari beberapa bentuk diantaranya dalam bentuk ammonia (NH_3), ammonium (NH_4^+), nitrat (NO_2^-) dan nitrit (NO_3^-). Fitoplankton menggunakan nitrogen dalam bentuk nitrat dan amonia, namun demikian fitoplankton lebih banyak menggunakan amonia daripada nitrat. Hal tersebut karena di perairan lebih banyak ditemukan amonia baik pada keadaan anaerobik maupun aerobik. Di perairan Nitrogen ditemukan dalam kondisi terlarut (dissolved) dan tidak terlarut (particulate). Keberadaan nitrogen di waduk berasal dalam perairan itu sendiri maupun dari DTA dan DAS yang masuk ke dalam waduk secara kontinyu. Nitrogen di dalam waduk dapat diperoleh dari limbah KJA berupa feses dan sisa pakan ikan, sedangkan DAS dan DTA umumnya berupa limbah rumah tangga, pertanian, peternakan dan industri. Nitrogen dapat sebagai faktor pembatas apabila konsentrasinya kurang dari delapan kali konsentrasi fosfor (UNEP-IETC/ILEC, 2001 dalam Permen LH No. 28 Th. 2009).

Total Phosphat (TP) merupakan salah unsur hara utama pemicu timbulnya proses eutrofikasi di perairan. Perairan dinyatakan pada kondisi oligotrofik jika konsentrasi TP $< 10 \mu\text{g.L}^{-1}$, mesotrofik TP $< 30 \mu\text{g.L}^{-1}$, eutrofik TP $< 100 \mu\text{g.L}^{-1}$ dan hiper apabila TP $> 100 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 28 Tahun 2009). pH dan

temperatur perairan mempengaruhi proses perubahan polifosfat menjadi ortofosfat. Perubahan tersebut akan berlangsung lebih cepat pada kondisi pH rendah dan temperatur tinggi. Menurut Suwardi et al. (2013), hasil simulasi model menunjukkan bahwa perikanan sistem KJA berpengaruh pada tingkat kesuburan perairan, yang diketahui dengan adanya peningkatan konsentrasi P baik di kolom air, fitoplankton maupun di sedimen.

Klorofil adalah zat hijau daun, merupakan salah satu pigmen tumbuhan. Klorofil-a berperan dalam proses fotosintesa. Secara umum fitoplankton mempunyai pigmen klorofil-a, sehingga untuk mengetahui konsentrasi fitoplankton di suatu perairan dilakukan pengukuran klorofil-a. Konsentrasi klorofil-a di suatu perairan antara lain terkait dengan ketersediaan unsur hara, intensitas sinar matahari dan kekeruhan. Jumlah klorofil-a pada setiap spesies fitoplankton berbeda, oleh karena itu struktur dan kelimpahan spesies fitoplankton di suatu perairan akan berpengaruh pada konsentrasi kandungan klorofil-a. Konsentrasi klorofil-a akan menurun dengan bertambahnya kedalaman, hal ini terkait dengan intensitas cahaya dan kandungan nutrient yang dibutuhkan fitoplankton untuk aktifitas fotosintesis (Mosharov et al., 2016; Rahayu et al., 2020).

Penetrasi cahaya atau kecerahan adalah besaran untuk mengetahui sampai kedalaman berapa cahaya matahari dapat menembus lapisan suatu ekosistem perairan. Besarnya nilai penetrasi cahaya dapat diidentifikasi dengan kedalaman air yang memungkinkan masih berlangsungnya proses fotosintesis (Asriyana dan Yuliana, 2012). Menurut Vidovic et al. (2015), cahaya merupakan parameter pembatas bagi biomassa

plankton di danau air tawar. Penetrasi cahaya juga dapat mempengaruhi produktivitas fitoplankton yang berperan sebagai produsen primer di perairan. Disamping itu penetrasi cahaya juga akan mempengaruhi aktifitas migrasi vertikal pada fitoplankton. Nilai intensitas cahaya dipengaruhi oleh kekeruhan, tingkat densitas plankton, sudut datang cahaya, waktu pengukuran, padatan tersuspensi dan cuaca. Intensitas cahaya akan berkurang secara eksponensial dengan meningkatnya kedalaman air. Klasifikasi status trofik berdasarkan kecerahan adalah $10 \text{ m} \geq$ untuk kategori perairan oligotrofik, $\geq 4 \text{ m}$ untuk kategori mesotrofik dan $> 2,5 \text{ m}$ untuk kategori eutrofik, sedangkan $< 2,5 \text{ m}$ untuk kategori hipertrofik.

4. Daya Tampung Beban Pencemaran Air

Pengelolaan sumber daya perairan dapat dilakukan menggunakan beberapa model diantaranya model eutrofikasi (Suwardi et al., 2013), matematika, hidrologi, model dinamik (Brumfield II, 2010), SWAT (Ferijal et al. 2015). Menurut Ferijal et al. (2015), model hidrologi merupakan salah satu alat yang dapat digunakan untuk membuat suatu perencanaan pengelolaan yang efektif dan tepat sasaran, Model SWAT yang dikembangkan berdasarkan data digital elevasi model dengan resolusi $90 \times 90 \text{ m}$, tata guna lahan yang diperoleh dari interpretasi citra satelit dan data soil dari hasil analisa sampel tanah menunjukkan bahwa kinerja model di kategorikan baik untuk mensimulasikan debit *inflow* dengan nilai- nilai NSE 0.77, RSR 0.48 dan PBIAS 13.4. Selanjutnya disampaikan pula bahwa kinerja model meningkat apabila digunakan untuk memprediksikan volume tampungan waduk bulanan dengan nilai- nilai NSE 0.77, RSR 0.48 dan PBIAS 13.4.

Selain beberapa model tersebut diatas perhitungan *Carring capacity* (Mhlanga et al., 2013) dan perhitungan daya tampung limbah (Machbub, 2010) merupakan salah satu model yang telah digunakan untuk pengelolaan sumberdaya perairan. Menurut Byron & Costa-Piercea (2010), *Carring capacity* merupakan salah satu alat untuk menilai dampak dari pengembangan pengambilan keputusan untuk perencanaan tata ruang dan pengelolaan berbasis ekosistem perikanan budidaya. Daya tampung beban pencemaran air adalah batasan kemampuan sumber daya air untuk menerima masukan beban pencemaran yang tidak melebihi batas ketentuan kualitas air untuk berbagai peruntukannya. Ketentuan kemampuan danau atau waduk tersebut terkait dengan manfaat perairan tersebut sebagai sumberdaya air dalam mendukung kesejahteraan manusia, sehingga tidak melebihi batas baku mutu air dan status trofik air yang dipersyaratkan (Machbub, 2010).

Persyaratan kualitas air untuk berbagai pemanfaatan air waduk atau baku mutunya terdiri dari syarat kadar kualitas air sesuai dengan parameter faktor fisik-kimia dan mikrobiologinya. Sedangkan persyaratan status trofik air danau dan atau waduk terdiri dari tingkat kecerahan air, kadar unsur hara khususnya nitrogen dan fosfor serta kadar klorofil-a. Perhitungan daya tampung perairan danau dan waduk perlu memperhatikan sumber dan beban pencemaran air dan dampaknya terhadap pemanfaatan air serta keberlanjutan fungsi waduk.

Faktor-faktor yang menentukan daya tampung beban pencemaran air danau dan atau waduk adalah sebagai berikut:

- a. Morfologi dan hidrologi danau/waduk
- b. Kualitas air dan status trofik danau/waduk

- c. Persyaratan baku mutu untuk pemanfaatan sumberdaya danau/waduk
- d. Alokasi beban pencemaran untuk berbagai sumber dan jenis limbah yang masuk ke danau/waduk .
- e. Laju erosi dan tata guna pemanfaatan DTA dan DAS yang masuk ke danau/waduk .(Permen LH No. 28 Tahun 2009; Machbub, 2010,)

Waduk merupakan badan air yang juga berfungsi sebagai area penampung air dari sungai. Oleh karena itu semua komponen bahan organik dan anorganik yang terlarut dan tersuspensi yang berasal dari hulu sungai akan terbawa masuk ke dalam waduk. Waduk mempunyai kemampuan untuk melakukan *self purification*, tetapi apabila komponen yang masuk melebihi daya dukung (*carrying capacity*), maka akan mengakibatkan permasalahan bagi perairan tersebut. Semua komponen itu meliputi limbah industri, limbah domestik, pertanian dan peternakan. Komponen tersebut akan meningkat terus seiring dengan pertumbuhan penduduk dan aktifitasnya. Oleh karena itu, jumlah beban pencemaran yang masuk ke perairan waduk termasuk limbah pakan ikan dari budidaya ikan KJA di waduk perlu ditentukan alokasinya, dengan tetap memperhatikan kondisi sosial ekonomi masyarakat sekitar demi keberlangsungan sumberdaya air. Penentuan alokasi beban pencemaran pada perairan umum perlu adanya pengertian dan perhatian khusus serta kerjasama antara pemerintah daerah setempat, masyarakat sekitar dan lembaga peneliti untuk mengkaji secara bijak upaya pengendalian beban pencemaran sesuai dengan sasaran yang tepat dan akurat. Penentuan alokasi beban pencemaran dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh kriteria baku mutu sumberdaya air sesuai dengan peruntukannya, dengan memperhatikan fungsi sumberdaya tersebut serta kelestariannya.

5. Persepsi Masyarakat terhadap Pengendalian Pencemaran Waduk

Pembangunan berkelanjutan mensyaratkan partisipasi masyarakat terutama dalam pengelolaan dan pembangunan lingkungan (Nanda et al., 2019). Persepsi merupakan pandangan atau konsep yang dimiliki seseorang mengenai sesuatu hal sedangkan perilaku adalah tindakan atau aspek dinamis yang muncul dari persepsi tersebut. Persepsi masyarakat dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal. Faktor internal adalah nilai-nilai dari dalam diri setiap individu yang diperoleh dengan hal-hal yang diterima dirinya. Adapun faktor internal yang memengaruhi persepsi seseorang di antaranya adalah motif, minat, harapan, sikap, pengetahuan, dan pengalaman. Sedangkan faktor eksternal adalah nilai-nilai dari luar setiap diri individu yang dapat mempengaruhi persepsi misalnya objek dan situasi. Berdasarkan persepsi tersebut akan dapat mempengaruhi perilaku individu dalam kehidupan sehari-harinya

Menurut Pujiastuti (2010), persepsi masyarakat terhadap pengendalian pencemaran di Waduk Gajah Mungkur Wonogiri masih rendah, demikian pula pemahaman terhadap upaya partisipasi penanggulangan dan pemulihan kualitas air. Hal tersebut karena masyarakat mempersepsikan pengelolaan waduk menjadi tanggung jawab pemerintah. Menurut Cholis (2015), keterbatasan pengetahuan akan menggiring persepsi masyarakat terhadap partisipasinya dalam menanggulangi pencemaran sungai. Disamping itu juga karena kurangnya kesadaran masyarakat akan pentingnya lingkungan hidup yang ada di sekitarnya. Regulasi yang mengatur peran masyarakat di lingkungan Waduk Wadaslintang dalam perencanaan tata ruang, pemanfaatan dan pengendalian pemanfaatan tata ruang tercantum

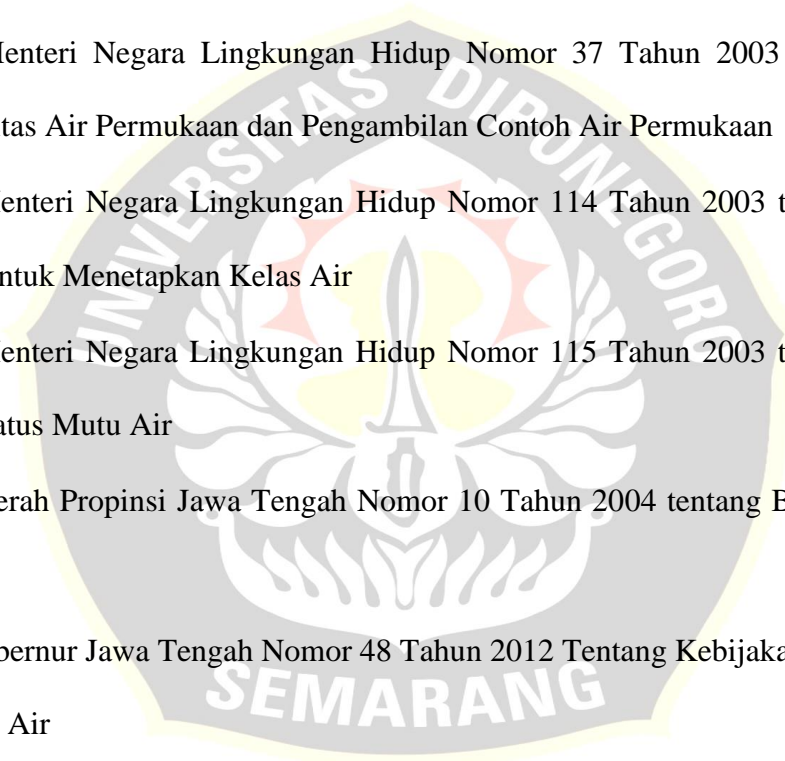
dalam Peraturan Daerah Kabupaten Wonosobo Nomor 2 Tahun 011, tentang Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Wonosobo Tahun 2011-2031.

6. Regulasi dan Kebijakan Pengelolaan Sumber Daya Air dan Lingkungan Hidup

Beberapa dasar hukum yang dijadikan sebagai acuan pengelolaan sumber daya air, sehingga keberlanjutannya tetap terjaga, dan mampu mendukung kesejahteraan seluruh masyarakat adalah sebagai berikut:

- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air;
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang;
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup;
- Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 1982, tentang Tata Pengaturan Air;
- Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001, tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Peraturan Pemerintah Nomor 115 Tahun 2003, tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air dengan Metoda Indeks Pencemaran.
- Peraturan Pemerintah Nomor 42 Tahun 2008, tentang Pengelolaan Sumber Daya Air;
- Peraturan Pemerintah Nomor 28 Tahun 2009, tentang Daya Tampung Beban Pencemaran Air Danau dan/waduk.
- Peraturan Pemerintah Nomor 37 Tahun 2010, tentang Bendungan;
- Peraturan Pemerintah Nomor 38 Tahun 2011, tentang Sungai;

- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51/Men LH/10 Tahun 1999 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri;
- 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 37 Tahun 2003 tentang Metoda Analisa Kualitas Air Permukaan dan Pengambilan Contoh Air Permukaan
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 114 Tahun 2003 tentang Pedoman Pengkajian Untuk Menetapkan Kelas Air
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air
- Peraturan Daerah Propinsi Jawa Tengah Nomor 10 Tahun 2004 tentang Baku mutu, Mutu Air Limbah.
- Peraturan Gubernur Jawa Tengah Nomor 48 Tahun 2012 Tentang Kebijakan Pengelolaan Sumber Daya Air
- Peraturan Daerah Kabupaten Wonosobo Nomor 2 Tahun 2011 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah



SEKOLAH PASCASARJANA