

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nitrogen dan fosfat yang berlebihan pada lingkungan air sungai akan berimplikasi pada terjadinya fenomena eutrofikasi. Eutrofikasi adalah proses peningkatan nutrisi (nitrogen dan fosfor) yang telah melebihi daya tampung dan daya dukung perairan tersebut. Kondisi eutrofikasi biasanya diawali dengan perubahan kualitas fisik dan kimia air kemudian diikuti dengan perubahan secara biologis yang sifatnya cenderung merugikan (Piranti, 2021). Dilihat dari bahan pencemarannya eutrofikasi tergolong pencemaran kimia. Eutrofikasi menyebabkan produksi tanaman berlebihan di badan air, pertumbuhan alga berbahaya, meningkatnya frekuensi kejadian anoksik, dan kematian biota air. Kondisi ini akan menimbulkan dampak kesehatan dan kerugian secara ekonomi, termasuk hilangnya produksi ikan dan satwa liar serta hilangnya fasilitas rekreasi (Ngatia & Taylor, 2019). Proses terjadinya eutrofikasi membutuhkan waktu yang sangat lama (ribuan tahun), namun akibat perkembangan ilmu teknologi yang menyokong modernisasi dan tidak diiringi dengan kearifan lingkungan maka hanya dalam hitungan puluhan atau beberapa tahun saja sudah dapat terjadi eutrofikasi.

Terlebih penelitian selama dua dekade terakhir menunjukkan bahwa tidak lebih dari 50% nitrogen pada pupuk digunakan secara langsung oleh tanaman yang menerima pupuk tersebut. Pencemaran nitrogen di badan air saat ini disebabkan oleh penggunaan pupuk saat ini dan masa lalu (Bijay-Singh & Craswell, 2021). Kondisi ekologi dan limpasan (*runoff*) memberikan dampak yang signifikan terhadap peningkatan polutan dalam air, terlebih apabila fasilitas drainase dan pengolahan air limbah tidak memadai (Zakaullah et al., 2022).

Selain itu, Kabupaten Pinrang juga memiliki potensi konflik sumber daya air yang tinggi, karena adanya permintaan air yang meningkat dari sektor pertanian, industri, dan perkotaan. Meningkatnya sektor tersebut menghasilkan masalah baru yaitu polusi badan air (Taralgatti et al., 2020). Karena itu, pemahaman yang lebih mendalam tentang kualitas air sungai dan faktor-faktor yang mempengaruhinya

menjadi sangat penting untuk mengelola sumber daya air dengan bijaksana dan menjaga keseimbangan ekosistem sungai.

Wilayah Sungai Saddang yang luasnya 10.230 km² merupakan wilayah sungai lintas provinsi yaitu melewati Provinsi Sulawesi Selatan dan Provinsi Sulawesi Barat yang meliputi 8 kabupaten dan 1 kota (Pangkep, Barru, Pinrang, Enrekang, Tana Toraja, Toraja utara, Polewali Mandar, Mamasa dan Pare-pare). Sungai terbesar adalah Sungai Saddang seluas 6.439,20 km², panjang sungai rerata 182 km, lebar rerata 80 m, dan memiliki 294 anak sungai. Khususnya pada DAS Saddang merupakan tanggung jawab Balai Besar Wilayah Sungai Pompengan Jeneberang (BBWSPJ), dimana kabupaten yang dilalui adalah Kabupaten Mamasa, Kabupaten Toraja Utara, Kabupaten Tana Toraja, Kabupaten Enrekang, dan Kabupaten Pinrang. Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Nomor: 04/PRT/M/2015 Tentang Kriteria dan Penetapan Wilayah Sungai, dalam lampiran V.109, maka DAS Saddang ini termasuk dalam Wilayah Sungai Saddang dengan kode WS adalah 05.15.A2 serta dengan Kode DAS adalah 004, dimana DAS Saddang tersebut melalui Kabupaten Pinrang.

Kabupaten Pinrang merupakan salah satu lumbung pertanian nasional dengan kegiatan pertanian yang intensif (Jusnawati & Pata, 2020). Namun, pertanian intensif sering kali menyebabkan masalah kualitas air sungai di daerah ini akibat limbah pertanian dan penggunaan pupuk yang berlebihan. Dalam beberapa tahun terakhir, peningkatan aktivitas pertanian di Kabupaten Pinrang telah menyebabkan perubahan signifikan dalam penggunaan lahan dan pengelolaan sumber daya alam (Arafah, 2011). Praktik pertanian yang tidak terkendali, seperti penggunaan pupuk dan pestisida yang berlebihan, dapat mengakibatkan pencemaran air sungai utamanya pada parameter nitrogen dan fosfat.

Aktivitas pembangunan pemukiman disepanjang aliran sungai di Kabupaten Pinrang juga tiap tahunnya semakin tinggi, hal ini memiliki potensi terjadinya pencemaran air limbah domestik. Seperti halnya di Sungai Saddang, hampir disepanjang sungai tersebut telah terjadi perubahan fungsi lahan. Penggunaan lahan di daerah sekitar sungai terdapat lahan permukiman maupun usaha dapat dijumpai disepanjang Sungai Saddang (Burhanuddin, 2018). Aliran Sungai Saddang yang mengalir di Kecamatan Watang Sawitto memiliki ketinggian

kurang dari 500 mdpl. Irigasi sawitto yang meliputi Kelurahan Jaya, Sawitto dan Bentenge saat ini bersatus kumuh ringan (Awaluddin, 2022). Buangan air limbah dari pemukiman atau air limbah domestik memiliki komposisi antara lain lemak (33%), protein (25%), selulosa (8%), pati (8%), lignin (6%) dan abu (20%), dengan nilai BOD berkisar antara 275 – 3000 ppm (Muhsinin, 2019). Air limbah domestik dapat menyebabkan menurunnya kualitas perairan apabila tidak diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke badan sungai.

Pemodelan kualitas air sangat efektif dalam perspektif manajemen kualitas air, hal ini karena model yang dikembangkan dengan baik akan membantu dalam mengambil keputusan pencegahan kerusakan lingkungan air yang semakin parah (Kim et al., 2023). Dalam penelitian ini akan menggunakan metode HEC-RAS sebagai alat pemodelan untuk menganalisis kualitas air sungai. HEC-RAS dapat memodelkan dengan lebih detail dan realistis bagaimana parameter fosfat dan nitrogen berperilaku dan menyebar dalam aliran sungai (Latif et al., 2022).

Pemilihan metode HEC-RAS dalam penelitian ini sangat relevan mengingat belum adanya penelitian terkait eutrofikasi akibat nitrogen dan phosphat di Kabupaten Pinrang. HEC-RAS dapat mengidentifikasi daerah-daerah dengan risiko tinggi terjadinya eutrofikasi, melacak pola aliran nutrien, dan mengidentifikasi titik-titik kritis yang mempengaruhi kualitas air sungai. Pemahaman yang lebih mendalam tentang peristiwa eutrofikasi ini akan menjadi dasar yang kuat bagi pengambilan keputusan dalam merumuskan kebijakan dan strategi pengelolaan sumber daya air yang efektif. Selain itu, HEC-RAS juga menyediakan alat visualisasi yang kuat untuk menganalisis hasil pemodelan (Kim et al., 2023). Dalam hal ini, HEC-RAS memberikan keuntungan tambahan dalam komunikasi dan pemahaman hasil penelitian kepada pemangku kepentingan dan pengambil keputusan terkait pengelolaan sumber daya air di Kabupaten Pinrang.

Bahaya eutrofikasi, seperti penurunan keanekaragaman hayati, penurunan kadar oksigen terlarut, dan kerusakan ekosistem pesisir, menunjukkan urgensi dan pentingnya penelitian ini. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang bahaya ini, dapat dilakukan tindakan pencegahan dan pengelolaan yang lebih efektif untuk menjaga kualitas air sungai dan ekosistem yang terkait (Nur et al., 2019). Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi kebijakan dan praktik

pengelolaan yang berkelanjutan dalam sektor pertanian di Kabupaten Pinrang, sehingga masalah yang diakibatkan oleh eutrofikasi dapat dikurangi bahkan diantisipasi.

Dengan demikian, dari permasalahan limbah aktivitas pertanian dan air limbah domestik di sepanjang Sungai Saddang. Utamanya pada parameter nitrogen dan fosfat yang dapat memicu eutrofikasi, sehingga berimplikasi pada penurunan kualitas air sungai serta kerugian secara ekonomi dan kesehatan. Maka penulis tertarik melakukan suatu penelitian mengenai penyebaran fosfat dan nitrogen serta potensi titik terjadinya eutrofikasi di Sungai Saddang dan bagaimanakah hubungan parameter fosfat dan nitrogen terhadap parameter indeks kualitas air sungai yang relevan dengan pemodelan lingkungan menggunakan HEC-RAS.

1.2 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang diatas maka didapatkan rumusan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimanakah konsentrasi fosfat dan nitrogen di Sungai Saddang, Kabupaten Pinrang?
2. Bagaimanakah kesesuaian hasil pengukuran fosfat dan nitrogen lapangan dan pemodelan menggunakan HEC-RAS?
3. Bagaimanakah hubungan parameter fosfat dan nitrogen terhadap parameter indeks kualitas air sungai yang relevan?

1.3 Tujuan Penelitian

Dari rumusan permasalahan diatas maka tujuan penelitian pemodelan kualitas air sungai berdasarkan parameter fosfat dan nitrogen menggunakan HEC-RAS adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis konsentrasi fosfat dan nitrogen di Sungai Saddang, Kabupaten Pinrang
2. Menganalisis kesesuaian hasil pengukuran fosfat dan nitrogen lapangan dan pemodelan menggunakan HEC-RAS

3. Menganalisis hubungan parameter fosfat dan nitrogen terhadap parameter indeks kualitas air sungai yang relevan

1.3.1 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi penulis:
 - a. Dapat menerapkan keilmuan yang telah didapat selama kuliah khususnya terkait pemodelan lingkungan dan analisis risiko lingkungan
 - b. Memperkaya keilmuan mengenai pemodelan kualitas lingkungan
2. Bagi peneliti lain:

Penelitian ini diharapkan memberi kontribusi ilmiah pada kajian yang berhubungan pemodelan lingkungan menggunakan aplikasi HEC-RAS dengan parameter nitrogen dan fosfat di aliran sungai saddang.

3. Bagi Pemerintah Kabupaten Pinrang:

Menjadikan penelitian ini sebagai bahan pertimbangan untuk mengeluarkan kebijakan dalam mengambil tindakan mitigasi terjadinya fenomena eutrofikasi yang semakin parah.

1.3.2 Ruang Lingkup Penelitian

Untuk mengarahkan penelitian, maka diberikan batasan agar dapat lebih fokus dan terarah pada suatu batasan tertentu. Adapun batasan masalah dalam studi ini adalah:

1. Penelitian ini akan berfokus pada analisis parameter fosfat dan nitrogen sebagai indikator kualitas air sungai. Parameter lain yang relevan seperti temperatur, BOD, dan DO hanya akan ditinjau berdasarkan hubungan dengan parameter fosfat dan nitrogen.
2. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak tiga kali dengan total sampel 17, karena terdapat satu kali waktu, diambil 7 sampel yaitu pada kondisi hujan. Adapun titik pengambilan sampel terdiri dari 5 titik.
3. Analisa parameter skala laboratorium dilakukan di Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

4. Penelitian ini akan difokuskan di Sungai Saddang sebagai lokasi penelitian, dengan mempertimbangkan karakteristik khusus daerah tersebut seperti topografi, kondisi hidrologi, dan penggunaan lahan.
5. Pengambilan sampel untuk uji kualitas air dilakukan pada Sungai Saddang yaitu berdasarkan SNI 6989.57:2008 tentang metode pengambilan contoh air permukaan.
6. Penelitian ini akan menggunakan metode HEC-RAS 5.0.6 sebagai alat pemodelan utama.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sungai

Sungai adalah jalur air yang mengalir dari sumber di hulu menuju hilir hingga mencapai laut. Sungai ini sangat penting bagi kehidupan manusia dan lingkungan air di sekitarnya. Mereka memiliki peran krusial dalam mendukung berbagai aspek kehidupan manusia seperti pertanian, pembangkit listrik, pengambilan mineral, dan kebutuhan sehari-hari. Sungai merupakan sumber utama air yang penting bagi berbagai makhluk hidup dan berfungsi sebagai sistem terbuka yang bergantung pada kondisi ekosistem sekitar. Perubahan di hulu dapat mempengaruhi kondisi di hilir, sehingga aktivitas di hulu berdampak pada keseluruhan sungai.

Sungai dapat dibagi menjadi tiga bagian: hulu, tengah, dan hilir. Bagian hulu memiliki drainase yang tinggi dan lereng curam dengan kemiringan lebih dari 15%, sementara bagian hilir memiliki drainase rendah dan kemiringan sekitar 8%. Bagian tengah berfungsi sebagai penghubung antara hulu dan hilir.

Daerah Aliran Sungai (DAS), sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2012, adalah wilayah daratan yang satu kesatuan dengan sungai dan anak sungainya, yang menampung, menyimpan, dan mengalirkan air dari curah hujan ke danau atau laut secara alami. Batas DAS di darat adalah pemisah topografis dan di laut adalah wilayah yang masih terpengaruh aktivitas daratan. DAS sangat penting sebagai penyedia air untuk pertanian, industri, dan pemukiman, serta dalam memelihara keseimbangan ekologis sebagai sistem penunjang kehidupan. Menurut PERMENHUT No.60/MENHUT-II/2014, DAS memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan ekologi. Aktivitas manusia dalam memanfaatkan sumber daya alam seperti hutan, tanah, dan air untuk budidaya tanaman, pertambangan, pembangunan, dan kegiatan lainnya dapat menyebabkan perubahan kondisi tata air suatu DAS (Ilva et al., 2020).

2.1.1 Koefisien Mannings

Koefisien manning merupakan nilai kekasaran dari suatu sungai atau saluran. Suatu saluran yang memiliki permukaan halus akan memiliki koefisien manning yang

berbeda dengan saluran yang memiliki permukaan kasar, semakin kasar suatu permukaan saluran maka akan memiliki koefisien Manning yang semakin besar. Penetapan nilai koefisien Manning akan ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 1 Nilai Koefisien Manning

No	Permukaan	Harga n yang disarankan		
		Minimum	Normal	Maksimum
1	Beton			
	• Gorong-gorong lurus dan bebas dari kotoran	0.010	0.011	0,013
	• Gorong-gorong dengan lengkungan dan sedikit kotoran	0.011	0.013	0.014
	• Beton dipoles	0.011	0.012	0.014
	• Saluran pembuang dengann bak control	0.013	0.015	0.017
2	Tanah, Lurus dan Seragam			
	• Bersih baru	0.016	0.018	0.020
	• Bersih telah melapuk	0.018	0.022	0.025
	• Berkerikil	0.022	0.025	0.030
	• Berumput pendek, sedikit tanaman penganggu	0.022	0.027	0.033
3	Saluran Alam			
	• Bersih lurus	0.025	0.030	0.033
	• Bersih berkelok-kelok	0.033	0.040	0.045
	• Banyak tanaman penganggu	0.050	0.070	0.08
	• Dataran banjir berumput pendek-tinggi	0.025	0.030	0.035
	• Saluran belukar	0.035	0.050	0.07

Sumber: (Chow, 1989)

2.2 Kualitas Air Sungai

2.2.1 Sumber Tertentu (*Point Source*)

Polusi sumber titik terjadi ketika polutan dilepaskan dari satu titik tertentu, sehingga sumber pencemarnya mudah diidentifikasi. Contoh polusi jenis ini meliputi kebocoran pipa atau tangki berlubang, air tercemar yang keluar dari pabrik, atau sampah yang dibuang ke sungai. Polusi dari sumber-sumber ini mudah dikenali karena penyebabnya bisa langsung diamati.

Sumber pencemaran air secara geografis tergantung pada lokasi dan harus diidentifikasi dengan tepat. Jumlah limbah yang dilepaskan bisa diperkirakan dengan berbagai cara, seperti pengukuran langsung, perhitungan neraca massa, dan teknik estimasi lainnya. Pencemaran air bisa berasal dari berbagai sumber, seperti kegiatan industri dan limbah domestik. Data mengenai pencemaran air dari sumber-sumber ini biasanya diperoleh dari informasi yang dikumpulkan selama aktivitas tersebut berlangsung, baik melalui pengukuran langsung terhadap limbah yang keluar dan pergerakannya, maupun dengan metode perkiraan untuk menghitung jumlah pencemaran air.

Klasifikasi jenis penghasil limbah, seperti kategori usaha atau kegiatan yang menghasilkan limbah.

1. Data spesifik mengenai polutan yang dilepaskan, seperti jumlah beban pencemar yang diukur atau diperkirakan yang dibuang ke air dalam satuan massa per unit waktu.
2. Informasi tentang lokasi dan jenis polutan spesifik yang dibuang, contohnya jenis industri tertentu di suatu wilayah yang menghasilkan beberapa jenis polutan spesifik.

2.2.2 Sumber Tak Tentu

Sumber-sumber pencemar air yang tidak dapat ditentukan lokasinya secara tepat, umumnya terdiri dari sejumlah besar sumber-sumber individu yang relatif kecil. Limbah yang dihasilkan antara lain berasal dari kegiatan pertanian, permukiman dan transportasi. Penentuan jumlah limbah yang dibuang tidak dapat ditentukan secara langsung, melainkan dengan menggunakan data statistik kegiatan yang menggambarkan aktivitas penghasil limbah. Sumber pencemar air tak tentu atau *diffuse sources* biasanya berasal dari kegiatan pertanian, peternakan, kegiatan

industry kecil-menengah, dan kegiatan domestic atau penggunaan barang-barang konsumsi. Sumber-sumber pencemar air umumnya terdiri dari gabungan beberapa kegiatan kecil atau individual yang berpotensi menghasilkan air limbah yang dalam kegiatan inventarisasi sumber pencemar air tidak dapat dikelompokkan sebagai sumber tertentu (Zubair et al., 2020).

2.2.3 Kriteria Mutu Air

Dalam lingkungan sekitar kita ada berbagai macam air, mulai dari air sungai, air laut, air danau, air hujan, air limbah, hingga air minum. Air tersebut mempunyai persamaan dan perbedaan yang dapat kita golongkan baik dari wujudnya, kualitasnya, atau sumber darimana air itu berasal. Oleh karena itu pemerintah Indonesia menggolongkan mutu air menjadi 4 kelas berdasarkan fungsinya. Hal ini tertulis dalam PP Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Setiap kelas mempunyai fungsi untuk dapat digunakan pada kegiatan tertentu. Berikut adalah kelas air berdasarkan PP Nomor 22 Tahun 2021. Menurut (Ibrahim et al., 2022), pemahaman masyarakat masih sangat rendah terkait kualitas air. Di sisi lain, sampai saat ini sebagian besar masih memanfaatkan air permukaan dan air tanah sebagai sumber air bagi keperluan rumah tangga.

1. Kelas Satu

Merupakan air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan/atau peruntukkan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

2. Kelas Dua

Merupakan air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

3. Kelas Tiga

Merupakan air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi tanaman, dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

4. Kelas Empat

Merupakan air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanian dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Adapun parameter kelas baku mutu air sungai dan sejenis menurut PP Nomor 22 Tahun 2021 dapat dilihat pada tabel 2 berikut:

Tabel 2 Kelas Baku Mutu Air Sungai

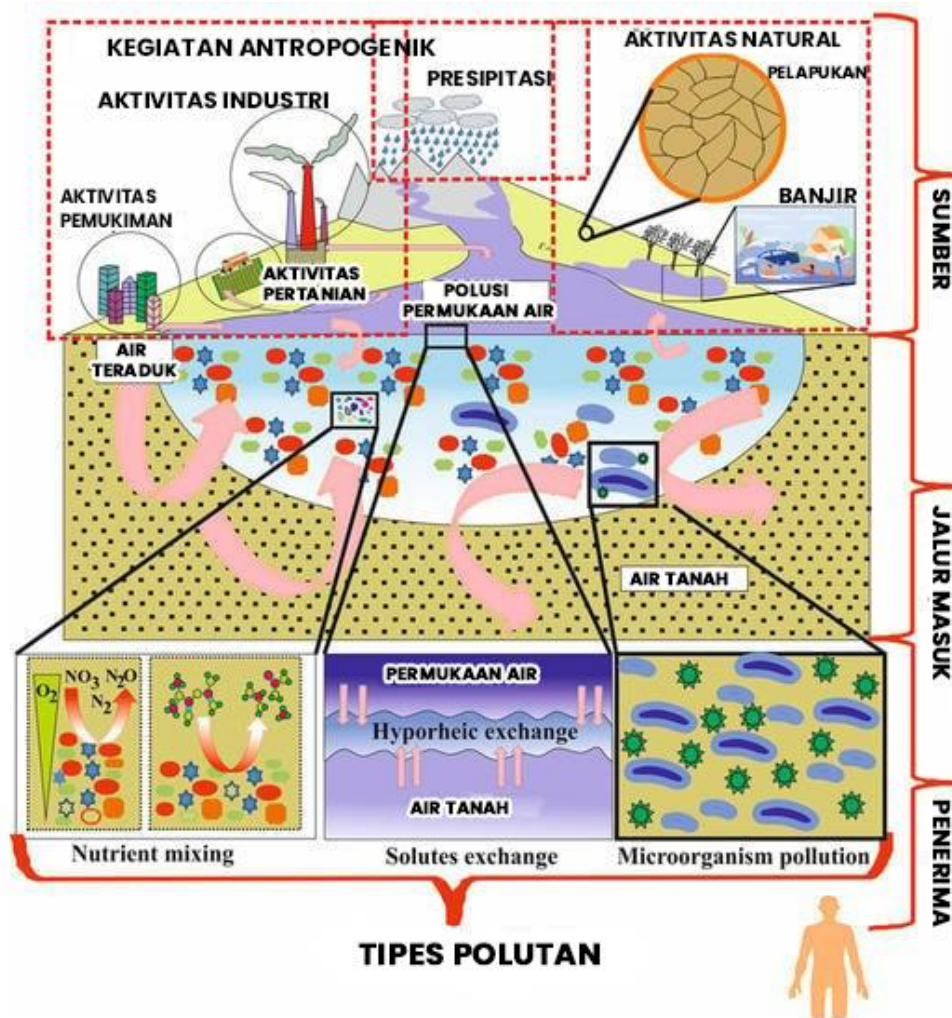
Parameter	Satuan	Kelas				Keterangan
		I	II	III	III	
Temperatur	°C	Deviasi 3	Deviasi 3	Deviasi 3	Deviasi 5	Deviasi Temperatur dari Alamiahnya
		6-9	6-9	6-9	6-9	Tidak berlaku untuk air gambut
DO	mg/L	6	4	3	1	Batas Minimal
BOD	mg/L	2	3	6	12	Batas Maksimal
Nitrat	mg/L	10	10	20	20	Batas Maksimal
Nitrit	mg/L	0,06	0,06	0,06	-	(-) berarti parameter untuk kelas terkait tidak dipersyaratkan
Amoniak	mg/L	0,1	0,2	0,6	-	Batas Maksimal
Total Nitrogen	mg/L	15	15	25	-	Batas Maksimal
Total Fosfat	mg/L	0,2	0,2	1,0	-	Batas Maksimal

Sumber: (Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, 2021)

2.3 Pencemaran Lingkungan Perairan

Menurut pasal 1 Ayat (14) Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup sebagaimana telah diubah dengan Pasal 22 ayat 1 angka 14 Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2020 tentang Cipta Kerja, menyatakan bahwa pencemaran lingkungan adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan. Masalah pencemaran lingkungan dapat dilakukan dengan meminimalisir tingkat pencemaran, mengendalikan pencemaran,

dan meningkatkan kesadaran serta kepedulian masyarakat terhadap lingkungan agar tidak mencemari lingkungan.



Gambar 1 Diagram skematik pencemaran di perairan.

Sumber: (Akhtar et al., 2021)

Polutan adalah substansi atau materi yang melebihi batas tertentu dan terdapat dilokasi dan waktu yang tidak sesuai, sehingga menjadi zat yang mencemari lingkungan, seperti bahan kimia, partikel debu, emisi panas, dan kebisingan. Polutan dapat mengakibatkan disfungsi lingkungan dan pada akhirnya berdampak negatif pada manusia dan organisme lain. Tingkat pencemaran sungai di Indonesia masih sangat tinggi. Jika pencemaran ini tidak ditangani secara memadai, dampaknya dapat sangat merugikan bagi kehidupan manusia dan ekosistem air.



Gambar 2 Diagram pencemaran perairan akibat aktivitas antroponik

Sumber:(Akhtar et al., 2021)

Polutan antropogenik adalah zat yang disebabkan oleh tindakan manusia, sebagian besar disebabkan oleh praktik penggunaan lahan. Air permukaan berbeda dengan air tanah karena mengandung banyak bahan kimia berbahaya yang dihasilkan oleh aktivitas manusia, sehingga sangat terkontaminasi (Khatri, 2014). Aktivitas antropogenik mempunyai pengaruh yang besar baik dalam hal memodifikasi besarnya kondisi yang ada maupun menambahkan variabel baru pada setiap bagian siklus air seperti kebocoran, irigasi, ekstraksi, atau air limbah

(Hassaan, 2020). Lebih jauh lagi, pertimbangan faktor sosial lokal erat kaitannya dengan praktik penggunaan lahan saat ini dan di masa lalu, seperti proses pengolahan limbah dan infrastruktur, tidak boleh dikesampingkan dengan mempertimbangkan kondisi alam. Pengolahan air limbah penting dilakukan untuk mencegah terjadinya pencemaran pada media lingkungan. Pengolahan air limbah dilakukan secara fisik, kimia, biologi atau gabungan dari metode pengolahan tersebut (Ibrahim et al., 2023).

2.3.1 Akibat Limbah Pertanian

Pertanian adalah salah satu aktivitas manusia yang paling umum yang dapat mempengaruhi air permukaan dan air tanah. Kegiatan kategori ini meliputi budidaya ikan, budidaya tanaman pangan, peternakan, pestisida dan pupuk, peternakan sapi, dan peternakan unggas. Kegiatan-kegiatan ini terjadi di permukaan bumi; Oleh karena itu, penetrasi tanah, vegetasi, curah hujan, permukaan, dan air irigasi dapat menyebabkan polutan masuk ke dalam air tanah (*runoff*). Kehutanan juga dapat menimbulkan dampak buruk terhadap sumber daya air. Timbunan berbagai bahan irigasi dan sisa tanaman juga mungkin menjadi sumber pencemaran air bawah tanah.

Pestisida adalah bahan kimia yang digunakan untuk menghilangkan organisme yang tidak diinginkan di kebun masyarakat, area pertanian, dan area publik lainnya (Hassaan, 2020). Kata “pestisida” mencakup semua bahan kimia yang digunakan untuk membunuh atau mengendalikan hama. Pada awal tahun 1960an, masyarakat mulai menyadari bahwa pestisida merupakan bahan berbahaya bagi lingkungan. Pengendalian bahan kimia telah menjadi inti pengembangan lahan pertanian dan juga umum terjadi pada urbanisasi dan industrialisasi yang pesat. Perkiraan pengawasan besar-besaran pada tahun 1989 menunjukkan bahwa penggunaan pestisida terus meningkat, hingga 3 juta ton dikonsumsi pada tahun 2007 (Burri, 2019). Dalam dua dekade terakhir, khususnya di Eropa dan Amerika Utara, penggunaan pestisida telah meningkat secara signifikan, dan penggunaan pestisida secara global terlihat jelas. Pestisida tetap menjadi masalah kronis terhadap pasokan air tanah di seluruh dunia meskipun ada pembatasan.

Komponen pupuk yang tidak dikontrol dengan baik dapat berpindah melalui limpasan lahan atau pencucian ke badan air. Dua senyawa pupuk utama yang paling

mengkhawatirkan pencemaran sumber daya air adalah nitrogen (N) dan fosfor (P). Pemanfaatan pupuk yang tidak tepat atau berlebihan dapat menyebabkan pencemaran nitrat pada badan air. Pupuk nitrogen secara biologis diubah menjadi nitrat, yang sangat larut dalam air, baik organik maupun anorganik (Smith, 2015). Selain itu, nitrat yang larut sangat mudah berpindah dan dapat diekstraksi dari tanah dengan air yang meresap, sehingga tidak dapat diakses untuk penyerapan dan akumulasi tanaman. Ketika polusi memasuki sumber air minum, pupuk nitrat dapat menyebabkan bahaya kesehatan yang serius, terutama bagi hewan ternak muda dan bayi.

Penggunaan nitrat dapat mempengaruhi methemoglobinemia (sindrom bayi biru) pada anak-anak, dengan menurunkan kapasitas pembawa oksigen dalam darah. Fosfor adalah komponen penting lainnya dalam pupuk. Fosfor dapat dipindahkan dengan mudah bersama tanah dalam beberapa keadaan. Selain itu, 60 hingga 90% fosfor biasanya berpindah bersama tanah. Fosfor secara global merupakan penyebab utama penurunan kualitas air di danau. Penyimpanan, penanganan, dan penggunaan pupuk yang tepat di lahan pertanian atau areal sangat penting jika pasokan air terlindungi dari polusi kimia. Hal ini salah satunya disebabkan karena gesekan pupuk dengan air permukaan dapat menyebabkan pertumbuhan alga berlebih dan dapat membunuh ikan, penyimpanan permanen yang aman dan kombinasi pupuk dari tumpahan, kebocoran, atau penetrasi air hujan diperlukan untuk mengatasi masalah ini.

2.3.2 Akibat Limbah Industri

Pencemaran air disebabkan oleh limbah industri terutama yang dikeluarkan dari pabrik, pabrik, dan sektor pertambangan. Sektor-sektor ini mempunyai potensi bahaya pencemaran sumber daya air. Sumber-sumber tersebut terletak di permukaan bumi sedangkan bahan limbah industri dialirkan ke air permukaan yang meresap langsung atau tidak langsung ke dalam air tanah. Dalam beberapa tahun terakhir, berbagai upaya telah dilakukan baik di negara maju maupun berkembang untuk mengenali sumber pencemaran air. Kegiatan pemantauan dan pembersihan telah dilaksanakan. Terlepas dari tantangan-tantangan ini, masih banyak pekerjaan yang perlu dilakukan untuk mendefinisikan dan menyimpan sumber-sumber ini serta mengevaluasi dampak dari langkah-langkah yang diambil. Diperkirakan 3%

permukaan tanah ditempati oleh keperluan industri dan perkotaan, termasuk kawasan eksplorasi ekstraksi mineral (Sagasta et al., 2017). Kedua faktor penyebab polutan inilah yang paling sering dibahas dalam literatur sumber daya air, mengingat banyaknya jumlah limbah cair dan padat yang dibuang.

Industri manufaktur secara kolektif menyumbang lebih banyak limbah dibandingkan operasi perkotaan dan pertanian, terutama aktivitas pertambangan yang menghasilkan limbah dalam jumlah lebih besar di seluruh dunia. Dalam beberapa dekade terakhir, perkembangan industri yang eksponensial dalam produksi energi, bahan mentah, dan aplikasi rekayasa dihasilkan dari pembuangan berbagai produk limbah yang terus bertambah dan beragam ke lingkungan, sehingga berdampak pada kualitas sumber daya air. Secara global, lebih dari 80% air limbah dilaporkan dibuang ke lingkungan tanpa pengolahan (Masi & Rizzo, 2017). Ada beberapa kemungkinan sumber utama pencemaran air akibat kegiatan industri termasuk limbah padat atau cair, praktik penambangan, tumpahan, dan kebocoran.

2.3.3 Akibat Limbah Pemukiman

Urbanisasi adalah suatu bentuk perubahan penggunaan lahan dan tutupan lahan yang meningkat pesat secara global. Hal ini mencakup konversi lahan pertanian, lahan basah, hutan, padang rumput, dan bentuk tutupan lahan lainnya menjadi lahan komersial, industri, perumahan, dan transportasi, sehingga menumbuhkan area permukaan yang kedap air. Oleh karena itu, permukaan yang kedap air merupakan faktor terukur yang berkorelasi erat dengan peningkatan sumber limpasan yang tercemar sehingga menurunkan kualitas sumber daya air (McGrane, 2016). Pekerjaan konstruksi sering kali mencakup tanggul sungai, pintu air, pekerjaan irigasi dan drainase, galeri penetrasi, sumur air, bendungan, dan waduk. Pada bagian ini, polutan utama yang dilepaskan dari aktivitas perkotaan seperti praktik perkotaan, pengembangan lahan, penghutanan, dan penggundulan hutan.

Limbah kota (rumah tangga atau domestik) berasal dari berbagai sumber aktivitas manusia dan wilayah sosial-ekonomi di seluruh dunia, yang mungkin berbentuk cair atau padat dan sulit untuk digunakan sebagai bahan baku. Akibatnya,

air limbah ini berasal dari kehidupan kita sehari-hari dan mencakup penyiapan makanan, mencuci, mandi, dan toilet (Milla et al., 2012). Selain itu, *grey water* dan *black water* dikeluarkan dari pemukiman domestik yang memiliki akses terhadap air pipa, serta tempat usaha dan bangunan di kawasan pemukiman seperti sekolah dan pusat kesehatan.

Istilah limbah digunakan untuk menggambarkan semua bentuk limbah cair yang dikombinasikan dan dengan limpasan permukaan. Air limbah komersial yang terdiri dari perusahaan, pertokoan, pertokoan, pasar terbuka, restoran, dan kafe sebagian besar serupa dengan air limbah rumah tangga. Limbah cair seperti urin, kotoran manusia, dan air cucian dibuang ke saluran-saluran agar tidak menjadi berbahaya di permukaan tanah dan, jika kadar cairannya tinggi, akan masuk ke permukaan air dan sistem air yang tercemar di sekitar lokasi (Lee et al., 2020). Khususnya di daerah perkotaan yang padat penduduknya, septik tank dapat mencemari persediaan air tanah setempat.

Selain itu, bahan limbah padat sangat heterogen dengan sifat fisik yang bervariasi tergantung pada sumbernya seperti kayu, plastik, logam, sisa makanan, kertas, bahan inert, wadah cat, sampah pekarangan, bahan pembongkaran, konstruksi, dan tekstil. Namun, sebagian besar sumber-sumber ini tidak lagi bertambah ukuran dan jumlah tujuan daur ulangnya.

2.4 Pupuk dan Pestisida

2.4.1 Pupuk

2.4.1.1 Pengertian Pupuk

Pupuk adalah bahan yang ditambahkan ke media tanam atau tanaman untuk memenuhi kebutuhan nutrisi yang diperlukan tanaman agar dapat tumbuh dengan baik. Pemupukan merupakan faktor penting dalam peningkatan produksi. Selain menambah unsur hara, pemupukan juga berperan dalam memperbaiki sifat fisik tanah dan meningkatkan daya tahan tanaman terhadap serangan hama dan penyakit, sehingga pertumbuhan tanaman menjadi lebih baik dan produksinya meningkat. Berdasarkan komposisinya, pupuk dibagi menjadi pupuk organik dan pupuk anorganik.

a. Pupuk Organik

Pupuk organik merupakan istilah untuk semua jenis bahan organik yang berasal dari tanaman dan hewan, yang dapat dirombak menjadi nutrisi yang tersedia bagi tanaman. Menurut PERMENTAN NO.2/PERT/HK.060/2/2006 tentang pupuk organik dan pembenah tanah, pupuk organik berasal dari tanaman atau hewan yang telah melalui proses rekayasa, dan dapat berbentuk padat atau cair untuk mensuplai bahan organik yang memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Pupuk organik berperan penting dalam membentuk agregat tanah yang mantap, dengan mengikat butiran primer menjadi butiran sekunder.

Pupuk organik sangat penting untuk mempertahankan konsep pertanian yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Penggunaan kompos sebagai pupuk pada tanaman pangan dan non-pangan dapat memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologis tanah. Mikroba dalam kompos juga dapat mengurangi residu pestisida dan insektisida yang digunakan petani. Hal ini berpengaruh besar pada porositas, penyimpanan dan penyediaan air, aerasi, dan temperatur tanah. Bahan organik dapat mencegah kekurangan unsur mikro pada tanah marginal atau yang telah diusahakan secara intensif, meningkatkan kapasitas tukar kation tanah, dan membentuk senyawa kompleks dengan ion logam yang meracuni tanaman seperti Al, Fe, dan Mn. Penggunaan pupuk organik dalam jangka panjang dapat meningkatkan produktivitas lahan dan mencegah degradasi tanah.

Sumber bahan untuk pupuk organik sangat beragam, dengan karakteristik fisik dan kandungan kimia yang berbeda-beda, sehingga efeknya terhadap lahan dan tanaman bisa bervariasi. Pupuk organik dapat memperbaiki sifat fisik tanah seperti porositas, kemampuan menahan air, infiltrasi, dan struktur tanah. Dalam hal sifat kimia tanah, pupuk organik membantu dalam mengatur derajat keasaman dan kesuburan tanah. Dari segi biologi, pemupukan dengan kompos meningkatkan populasi berbagai jenis biota tanah, karena biota ini mengurai bahan organik dari kompos untuk menyusun selnya.

b. Pupuk Anorganik

Pupuk anorganik adalah pupuk yang diproduksi di pabrik dengan meramu bahan-bahan kimia berkadar hara tinggi, umumnya mengandung unsur hara makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Misalnya, pupuk urea yang memiliki kadar nitrogen 45%-46% dihasilkan dari penggabungan gas amoniak dan

gas asam arang, dengan sifat mudah larut dalam air, cepat menguap, dan mudah tercuci. Pupuk SP-36 mengandung 36% fosfor (P₂O₅), mudah larut dalam air, dan berwarna abu-abu. Pupuk anorganik dapat dengan cepat menyediakan unsur hara bagi tanaman dan mudah digunakan karena jumlahnya yang relatif kecil dan larut dalam air. Namun, pupuk anorganik memiliki kelemahan karena hanya mengandung unsur makro dan tidak mengandung unsur mikro, serta penggunaannya secara terus-menerus dapat merusak sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Jika dosisnya terlalu tinggi, pupuk ini dapat membunuh tanaman.

Pada budidaya tanaman pangan dengan umur panen 3-4 bulan, pemupukan kimia pertama biasanya dilakukan saat tanam dengan dosis 300 kg/ZA, 250 kg SP36, dan 250 kg KCl per hektar, dengan tambahan urea sebanyak 250 kg per hektar sekitar 35 hari setelah tanam. Tanaman yang dipanen lebih dari sekali, seperti cabai, tomat, terong, dan seledri, memerlukan pemupukan tambahan. Pupuk kimia memiliki kelebihan yaitu mudah diserap oleh tanaman, sehingga dalam dua sampai lima hari setelah pemupukan, tanaman akan menunjukkan respons positif karena unsur hara lebih tersedia. Pupuk kimia dengan cepat meningkatkan kesuburan tanah dan ketersediaan hara bagi tanaman. Namun, pupuk kimia tidak memperbaiki sifat fisik dan biologi tanah. Setelah berada di zona perakaran, pupuk kimia bereaksi dengan senyawa tanah dan terikat secara kimiawi dalam bentuk ion atau kation, tidak mengubah tekstur tanah atau komposisi fraksi pasir, debu, dan liat penyusun tanah. Pupuk kimia juga tidak mampu mengubah jumlah pori-pori mikro dan berat jenis tanah, sehingga jumlah air yang terikat secara higroskopis tidak berubah.

Pupuk kimia tidak mengubah jumlah pori-pori makro dalam tanah, laju infiltrasi, atau drainase tanah. Oleh karena itu, lahan pertanian yang dipupuk dengan pupuk kimia secara terus-menerus akan mudah memadat setelah pengolahan tanah karena kerapatan massa tanah meningkat. Pupuk kimia tidak memperbaiki sifat biologi tanah karena unsur hara yang terkandung lebih mudah diserap oleh tanaman, sehingga biota tanah tidak dapat mengonsumsinya untuk sintesis sel. Secara umum, nilai suatu pupuk ditentukan oleh sifat-sifat berikut: kadar unsur hara, higroskopisitas, kelarutan, kemasaman, dan indeks garam. Kadar unsur hara menunjukkan banyaknya unsur hara yang dikandung oleh pupuk, higroskopisitas adalah kemampuan pupuk menyerap molekul air dari udara atau lingkungan,

kelarutan menunjukkan kemudahan pupuk larut dalam air dan diserap oleh tanaman, kemasaman berkaitan dengan sifat kemasaman pupuk yang bisa masam, alkali, atau netral, dinyatakan dengan ekuivalen kemasaman, dan indeks garam menunjukkan kemampuan pupuk meningkatkan kemasaman tanah. Penggolongan Pupuk

1. Berdasarkan Pembentukannya

Berdasarkan proses atau cara pembentukannya, pupuk dibagi menjadi dua jenis, yaitu pupuk alam dan pupuk buatan. Pupuk alam adalah pupuk yang diperoleh atau dibuat dengan mengeksplorasi bahan-bahan tambang alam secara langsung. Teknologi yang digunakan umumnya sangat sederhana, meliputi penambangan, penggilingan, dan penyaringan. Sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI), kehalusan pupuk alam dalam saringan 100 mesh adalah 85-90%. Pupuk alam memiliki perubahan bentuk dari bahan asalnya hanya pada ukuran partikel atau menjadi powder, dan sifat kimianya sama dengan bahan asal dengan kandungan hara yang bervariasi. Kelarutan pupuk alam umumnya adalah slow release atau terlarut secara bertahap. Pupuk alam sangat membantu dalam mencegah erosi lapisan atas tanah yang mengandung banyak hara dan berperan penting dalam merawat serta menjaga tingkat kesuburan tanah yang telah mengalami penggunaan pupuk anorganik secara berlebihan.

Pupuk buatan, di sisi lain, adalah pupuk yang diproses dari bahan-bahan tertentu melalui proses teknologi yang meliputi pemurnian, pengkayaan, serta pembentukan senyawa baru. Teknologi yang digunakan umumnya bersifat high-tech. Karakter utama pupuk buatan adalah kemampuan untuk menyediakan unsur hara secara cepat dan efisien bagi tanaman.

2. Berdasarkan Jumlah Unsur Hara

Pupuk Tunggal Pupuk tunggal adalah pupuk yang mengandung satu unsur hara utama. Misalnya, pupuk ZA (Amonium Sulfat) dengan rumus $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ yang memiliki kadar 21% N dan 23% S tetap disebut pupuk tunggal karena tujuan utamanya adalah memasok unsur hara nitrogen. Kehadiran unsur sulfur hanya menambah manfaat atau menjadi pertimbangan dalam pemilihan pupuk. Contoh lain dari pupuk tunggal termasuk KCl, Kieserit, TSP, dan RP.

Di sisi lain, pupuk majemuk adalah pupuk yang mengandung lebih dari satu unsur hara. Pupuk ini umumnya berfokus pada hara makro seperti nitrogen (N),

fosfor (P), kalium (K), dan magnesium (Mg), sehingga pupuk majemuk dapat terdiri dari dua, tiga, atau empat unsur hara.

Tabel 3 Contoh pupuk majemuk

Jumlah Hara	Uraian	Nama Pupuk	Komposisi/Rumus Kimia
2	N-P	DAP (<i>Diamonium phosphate</i>)	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$
	N-K	Kalium Nitrat	KNO_3
	P-K	Kalium Meta phosphate	$\text{K}(\text{H}_2\text{PO}_4)$
3	N-P-K	Amofoska	12.24.12
		Amofoska	10.20.15
4	N-P-K-Mg	Pupuk Majemuk	15.15.6.4
		(<i>Compound Fertilizer</i>)	12.12.17.2

Sumber: (Wahyuni, 2017)

3. Berdasarkan Susuna Kimia

Berdasarkan susunan kimianya, pupuk dapat dikelompokkan menjadi pupuk organik dan pupuk anorganik. Pupuk organik adalah hasil akhir atau hasil antara dari penguraian bagian atau sisa-sisa tumbuhan dan binatang. Proses ini melibatkan penurunan rasio C/N agar unsur hara nitrogen dapat tersedia bagi tanaman. Selama dekomposisi, bahan tambahan sering digunakan untuk mempercepat kematangan. Contoh pupuk organik termasuk kompos dari berbagai jenis hijauan, tandan kosong kelapa sawit, dan kotoran hewan ternak. Dalam inovasi pupuk, terdapat pula pupuk hayati, yaitu substrat yang didominasi oleh mikroorganisme dalam konsentrasi tinggi, yang bertujuan memperbanyak populasi mikroorganisme yang dapat bersinergi meningkatkan ketersediaan hara tanah.

Pupuk anorganik, atau pupuk kimia, mengandung senyawa anorganik yang berasal dari eksplorasi bahan-bahan alam secara sederhana maupun melalui proses pabrikasi. Pupuk ini memiliki kadar hara yang tinggi, mudah larut, dan cepat tersedia bagi tanaman.

2.4.2 Pestisida

Pestisida berasal dari kata "pest" yang berarti hama dan "cida" yang berarti pembunuh. Jadi, pestisida adalah substansi kimia yang digunakan untuk membunuh atau mengendalikan berbagai hama. Istilah pestisida mencakup berbagai istilah lain yang lebih spesifik, karena pestisida berkaitan dengan senyawa racun yang dapat mengendalikan, mencegah, menangkis, atau mengurangi gangguan hama yang

memiliki nilai ekonomis. Pestisida telah digunakan secara luas untuk meningkatkan produksi pertanian, perkebunan, dan memberantas vektor penyakit. Namun, penggunaan pestisida sintetis menimbulkan dilema.

Di satu sisi, pestisida sintetis sangat diperlukan untuk meningkatkan produksi pangan guna memenuhi kebutuhan yang terus meningkat. Namun, penggunaan pestisida juga membawa risiko karena sifat toksiknya terhadap manusia serta dampaknya terhadap lingkungan dan ekosistem. Setiap hari, ribuan petani dan pekerja di sektor pertanian terpapar pestisida, dan setiap tahun jutaan orang yang terlibat di pertanian mengalami keracunan akibat pestisida. Dalam banyak kasus keracunan, petani dan pekerja pertanian terpapar pestisida saat mencampur dan menyemprotkannya.

2.4.2.1 Pengertian Pestisida

Pestisida adalah zat kimia atau bahan lain, termasuk mikroorganisme dan virus, yang digunakan untuk mengendalikan, mencegah, atau membasmi gangguan yang disebabkan oleh serangga, hewan pengerat, nematoda, jamur, gulma, virus, bakteri, dan mikroorganisme lain yang dianggap sebagai hama dalam konteks pertanian. Definisi ini mencakup juga penggunaan pestisida untuk mengatur pertumbuhan atau merangsang tanaman, serta untuk membasmi hama pada hewan peliharaan, di perairan, dan dalam lingkungan rumah tangga, bangunan, serta alat transportasi. Menurut Peraturan Menteri Pertanian Nomor 07/PERMENTAN.140/2/2007, pestisida juga dapat merujuk kepada zat atau campuran zat yang digunakan untuk berbagai tujuan tersebut, mencakup berbagai bentuk bahan kimia, biologis, dan virus yang digunakan untuk perlindungan tanaman dan kontrol hama lainnya.

2.5 Parameter Kualitas Air

2.5.1 Temperatur

Beberapa reaksi kualitas air sangat dipengaruhi oleh temperatur. Konstanta laju ditentukan pada temperatur acuan 20 °C dan dikoreksi dengan temperatur air setempat. Hubungan antara laju reaksi dan temperatur dimodelkan dengan hukum laju Arrhenius

$$K_{T=K_{20}\theta^{(T-20)}} \quad (1)$$

dimana:

K_T = Laju Konstanta pada temperatur (T)

K_{20} = Laju konstanta pada 20 °C

θ = temperatur koefisien koreksi

2.5.2 Oksigen Terlarut (*Dissolved Oxygen*)

Sumber oksigen terlarut adalah reareasi atmosfer dan fotosintesis alga. Secara umum, konsentrasi oksigen terlarut kurang dari titik kejenuhan, namun fotosintesis dapat menyebabkan oksigen terlarut melebihi saturasi.

$$DO_{sumber} = K_2(O_{sat} - DO) \quad (2)$$

$$-A(\alpha_3\mu - \alpha_4P) \quad (3)$$

$$-K_1CBOD \quad (4)$$

$$-\frac{K_4}{d} \quad (5)$$

$$-\alpha_5\beta_1NH_4 \quad (6)$$

$$-\alpha_6\beta_2NO_2 \quad (7)$$

dimana:

O_{sat} = Konsentrasi oksigen terlarut di saturasi (MGOL⁻¹)

A = Produksi O_2 per satuan pertumbuhan alga (MGOMg⁻¹)

A_3 = Produksi O_2 per unit ganggang yang dihembuskan (MGmg⁻¹)

A_5 = O_2 serapan per unit NH_4 teroksidasi (MGO MGN⁻¹)

A_6 = O_2 serapan per unit NO_2 teroksidasi (MGO MGN⁻¹)

K_1 = Tingkat deoksigenasi BOD karbon (hari⁻¹)

K_2 = Transfer rata reaksi (hari⁻¹)

K_4 = Sedimen tingkat kebutuhan oksigen (mg hari m_l⁻¹)

B_1 = Laju oksidasi ammonia (hari⁻¹)

B_2 = Laju oksigasi nirtit (hari^{-1})

D = Rata-rata kedalaman saluran (m)

Rearasi adalah proses pertukaran oksigen antara air dan atmosfer di seluruh antar muka udara-air. Dalam model ini, reareasi disimulasikan sebagai proses gradien fluks, produk dari konstanta laju reareasi (K_2) dan perbedaan antara konsentrasi oksigen actual dan jenuh dibubarkan. Parameter ini pengguna mengatur dan tergantung temperatur.

2.5.3 *Biological Oxygen Demand (BOD)*

Biological Oxygen Demand (BOD) pada suatu perairan berasal dari aktivitas yang dilakukan manusia pada wilayah perairan. BOD terbagi menjadi dua yaitu *Carbonaceous Biological Oxygen Demand* (CBOD) dan *Nitrogenous Biological Oxygen Demand* (NBOD). Proses CBOD menggunakan mikroorganisme untuk mengoksidasi material organik. Proses NBOD sama seperti CBOD hanya saja terjadi setelah menurunnya proses CBOD. Masa inkubasi NBOD dimulai pada hari ke-6 hingga ke-7.

2.5.4 Alga

Model kualitas air hanya mendukung fitoplankton alga yang mengambang bebas dan mengkonsumsi nutrisi dari kolom air. Pertumbuhan alga dan respirasi mempengaruhi konsentrasi alga (A), konsentrasi hari (NH_4 , NO_3 , PO_4 , OrgN , dan OrgP), dan oksigen terlarut (DO)

Saat siang alga fotosintesis menghasilkan oksigen terlarut dan pada malam hari respirasi menggunakan oksigen. Alga memanfaatkan fosfor dan nitrogen organik terlarut dalam bentuk mereka (NH_4 , NO_4 , dan PO_5). Alga merupakan sumber dari bentuk organik nitrogen (OrgN) dan fosfor (OrgP).

2.5.5 Nitrogen

Spesies nitrogen paling banyak ditemukan pada air sungai adalah nitrogen organik (orgN), ammonium nitrogen (NH_4), nitrit nitrogen (NO_2), nitrat nitrogen (NO_3) dan nitrogen organik partikulat. Nitrogen organik tidak termasuk dalam model kualitas dengan HEC-RAS. Dalam perairan aerobik alami ada transformasi

konstan nitrogen organik (orgN) ke ammonium (NH_4), ammonium akan diubah menjadi nitrit (NH_2) dan akhirnya menjadi nitrat (NH_3).

Pengukuran untuk nitrat dan nitrit dalam air sungai yang umum terutama karena peningkatan konsentrasi menjadi perhatian bagi kesehatan manusia dan ternak. Nitrit jarang berlimpah di sungai. Nitrit lebih stabil dan ditemukan di perairan alami.

Karena nitrogen organik dan nitrit umumnya tidak stabil dalam perairan, peningkatan konsentrasi nitrogen organik dan nitrit tidak bisa menjadi indikator potensi pencemaran pada suatu perairan. Sementara nitrat dan ammonium mampu menjadi indikator pencemaran pada suatu perairan karena bentuk ini lebih stabil. Konsentrasi tinggi nitrat dan ammonium menunjukkan sumber pencemaran lebih lanjut pada daerah hulu., Peningkatan konsentrasi ammonium lebih sering dikaitkan dengan limbah peternakan, sedangkan konsentrasi nitrat lebih sering dikaitkan dengan limpasan pertanian.

2.5.6 Fosfat

Ada dua spesies fosfat yaitu fosfat organik (orgP) dan ortofosfat anorganik (PO_4). Fosfor dalam lingkungan diperoleh dari pelarutan batuan dan mineral dengan kelarutan rendah. Erosi tanah di daerah pertanian merupakan sumber signifikan (partikulat) fosfor. Sisa metabolisme hewan juga merupakan sumber fosfor. Fosfor hadir dalam limbah dalam bentuk anorganik terlarut (PO_4).

2.6 Parameter Fosfat dan Nitrogen dalam Kualitas Air

Eutrofikasi nitrogen (N) dan fosfor (P) pada ekosistem laut merupakan masalah global. Eutrofikasi laut berdampak negatif terhadap ketahanan pangan, kesehatan ekosistem, dan perekonomian melalui gangguan pada industri pariwisata, perikanan, dan kesehatan. Baik N maupun P mempunyai sumber titik dan non titik yang diketahui. Pengendalian sumber titik lebih mudah dibandingkan sumber non-titik khususnya sumber pertanian untuk N dan P serta pembakaran bahan bakar fosil untuk N, yang masih menjadi tantangan besar. Penerapan strategi mitigasi N dilaporkan efektif untuk mitigasi P; namun, hal sebaliknya tidak terjadi karena mobilitas dan volatilitas N. N dan P yang berlebihan menyebabkan pertumbuhan

alga, kondisi anoksik, dan pengasaman laut. Kondisi ini menyebabkan zona mati, kematian ikan, produksi racun, perubahan keanekaragaman spesies tanaman, dan jaring makanan. gangguan, gangguan pariwisata dan masalah kesehatan. Pengelolaan polusi N dan P mencakup pengurangan pencucian dari peternakan melalui pemilihan tanaman, penerapan pupuk yang tepat waktu dan tepat serta pembangunan lahan basah buatan, pengelolaan kotoran hewan yang tepat, pengurangan emisi bahan bakar fosil N, mitigasi N dan P dari sumber perkotaan dan pemulihan sumber daya alam. ekosistem perairan. Langkah-langkah mitigasi perlu fokus pada strategi nutrisi ganda agar pengurangan N dan P berhasil.

Dalam beberapa dekade terakhir telah terjadi peningkatan besar-besaran eutrofikasi laut secara global. Penyebab utama eutrofikasi laut adalah Nitrogen (N) dan Posfor (P). Eutrofikasi menyebabkan hipoksia dan anoksia, penurunan kualitas air, perubahan struktur jaring makanan, degradasi habitat, hilangnya keanekaragaman hayati, dan pertumbuhan alga yang berbahaya dan merugikan. Selain itu, hipoksia pesisir berkontribusi terhadap pengasaman laut yang merugikan organisme pengapuran misalnya moluska dan krustasea. Nitrogen dan P diperlukan untuk mendukung pertumbuhan tanaman air dan telah dilaporkan sebagai nutrisi pembatas utama di sebagian besar ekosistem perairan. Selanjutnya, N diperlukan untuk sintesis protein sedangkan P diperlukan untuk transfer DNA, RNA dan energi. Ekosistem laut yang banyak mengandung unsur hara dapat menunjukkan keterbatasan N, keterbatasan P, dan ko-limitasi unsur hara pembatas dapat berubah baik secara musiman maupun spasial.

Sejumlah faktor membuat N lebih terbatas di ekosistem laut dibandingkan di ekosistem air tawar dengan dua faktor utama yaitu desorpsi P yang terikat pada tanah liat seiring dengan meningkatnya salinitas dan berkurangnya/kurangnya fiksasi N planktonik sebagai akibat dari meningkatnya N. salinitas, mengakibatkan fluks air laut yang relatif kaya N dan miskin N. Peningkatan penggunaan pupuk N dan P serta pupuk kandang dalam produksi pertanian telah secara signifikan meningkatkan hasil panen dan ketahanan pangan bagi populasi manusia yang terus meningkat, namun penggunaan pupuk di pertanian telah menyebabkan masalah serius dengan eutrofikasi perairan. Akibatnya N dan P dalam pupuk dan pupuk

kandang memasuki sistem air tawar dan diangkut melalui aliran sungai ke wilayah pesisir sehingga mengakibatkan eutrofikasi ekosistem pesisir dan laut secara global.

Keberadaan dan kelimpahan suatu jenis fitoplankton di perairan umum sangat ditentukan oleh sifat fisik dan kimia air, khususnya kandungan nutrient badan air tersebut. Nutrient merupakan unsur kimia yang diperlukan (fitoplankton) untuk pertumbuhannya. Sampai pada tingkat konsentrasi tertentu, peningkatan konsentrasi nutrient dalam badan air akan meningkatkan produktivitas perairan, karena nutrient yang larut dalam badan air langsung dimanfaatkan oleh fitoplankton untuk pertumbuhannya sehingga populasi dan kelimpahannya meningkat. Peningkatan nutrient yang berkelanjutan dalam konsentrasi yang tinggi pada akhirnya akan menyebabkan badan air menjadi sangat subur atau eutrofik dan menimbulkan dampak negative bagi badan air tersebut. Proses peningkatan kesuburan air yang berlebihan yang disebabkan oleh masuknya nutrient dalam badan air, terutama fosfat inilah yang disebut eutrofikasi (Garno, 2012). Adapun nitrat adalah bagian utama nitrogen di perairan alami yang merupakan nutrient utama bagi pertumbuhan fitoplankton, tanaman dan alga, Nitrat bersifat stabil dan mudah larut dalam air (Yusal, 2021)

2.6.1 Sumber Nitrogen dan Fosfat.

Nutrisi adalah unsur kimia yang mempengaruhi produktivitas seluruh ekosistem. Nitrogen dan fosfor adalah dua nutrisi yang penting untuk pertumbuhan dan kelangsungan hidup tanaman dan hewan, namun seringkali jumlahnya terbatas di sistem alami.

Seabad yang lalu, N reaktif dunia diperoleh terutama melalui fiksasi mikroorganisme. Ini adalah fiksasi N alami dari atmosfer. Saat ini, sebagian besar N reaktif berasal dari aktivitas antropogenik, terutama pupuk N sintetis, penggunaan pupuk kandang, dan pembakaran bahan bakar fosil. Selain itu, aktivitas antropogenik telah mempercepat fiksasi N biologis yang terkait dengan pertanian. Diperkirakan secara global pengendapan N reaktif adalah ~25–33 Tg N per tahun dari pembakaran bahan bakar fosil, ~118 Tg N per tahun dari pupuk, dan ~65 Tg N per tahun dari fiksasi N₂ di atmosfer oleh budidaya tanaman polong-polongan dan padi. Hanya ~22% dari total masukan N yang dihasilkan manusia terakumulasi di

tanah dan biomassa, sedangkan ~35% masuk ke lautan melalui pengendapan di atmosfer (17%) dan pencucian melalui limpasan sungai (18%). Namun, satu-satunya sumber pengendapan P di atmosfer adalah melalui mineral.

Aerosol dan fluks global diperkirakan mencapai 3-4 Tg P per tahun. Kegiatan pertanian dan urbanisasi merupakan pendorong utama pencemaran N di perairan pesisir. Revolusi hijau telah mengarah pada penggunaan pupuk N sintetis, yang menghasilkan N reaktif dengan laju empat kali lebih besar dibandingkan pembakaran bahan bakar fosil. Fiksasi dinitrogen oleh cyanobacteria planktonik lebih kecil kemungkinannya terjadi di laut pesisir dibandingkan dengan danau, karena salinitas yang tinggi, dimana fiksasi N₂ planktonik pesisir belum teramati pada salinitas yang lebih tinggi dari 8-10 dan normalnya salinitas laut adalah ~35. Sumber fosfor dapat berasal dari alam yang meliputi P tanah asli, pengendapan atmosfer, dan P antropogenik. Sumber fosfor mencakup sumber titik dan non titik.

Kelebihan masukan fosfor ke danau/sungai, yang pada akhirnya ditranslokasi ke ekosistem laut, biasanya berasal dari limbah industri, lokasi konstruksi, daerah perkotaan, limbah dan limpasan pertanian. Banyak negara telah menerapkan mekanisme untuk mengendalikan sumber P, namun pengendalian sumber P non-titik khususnya sumber pertanian masih menjadi tantangan. Sumber utama masukan P nonpoint ke badan air adalah penggunaan pupuk atau pupuk kandang yang berlebihan di lahan pertanian yang menyebabkan P terakumulasi dalam tanah. Perlu dicatat bahwa sistem produksi tanaman dan peternakan adalah penyebab utama perubahan siklus N dan P global yang dilakukan manusia (Ngatia & Taylor, 2019).

2.7 Eutrofikasi

Eutrofikasi adalah proses peningkatan nutrien (nitrogen dan fosfor) yang telah melebihi daya tampung dan daya dukung perairan tersebut. Kondisi eutrofikasi biasanya diawali dengan perubahan kualitas fisik dan kimiawi air kemudian diikuti dengan perubahan secara biologis yang sifatnya cenderung merugikan yaitu terjadinya blooming algae dan makrofita akuatik yang mengganggu pemanfaatan danau/waduk dari berbagai sektor seperti sektor pariwisata, kesehatan dan ekonomi (Piranti, 2019).

Terdapat 4 langkah terjadinya eutrofikasi dalam badan air yaitu *excess nutrient*, *algae bloom*, *oxygen depletion* dan *dead zones*. Pertama-tama petani memberikan pupuk ke tanah yang kemudian nutrient dari pupuk tersebut terbawa ke badan air. Selanjutnya nutrient yang terbawa didalam air mengandung kandungan nitrat dan fosfat yang tinggi sehingga menyebabkan pertumbuhan alga tak terkendali di badan air, Peningkatan kadar bahan organik ditandai dengan terjadinya peningkatan fitoplankton dan tumbuhnya air yang meningkat (*blooming algae*). Alga berlebih yang terbentuk tersebut akan menahan cahaya matahari untuk masuk kedalam air. Bahan organik dan senyawa nutrisi yang muncul dalam badan air kemudian didekomposisi oleh bakteri menggunakan oksigen terlarut untuk proses biokimia maupun proses biodegradasi. Hal ini akan mengakibatkan penurunan kadar oksigen terlarut dalam badan air. Oksigen merupakan gas tak berbau, tak berasa dan hanya sedikit terdapat dalam air. Untuk mempertahankan hidupnya, makhluk yang tinggal di dalam air baik hewan maupun tumbuhan bergantung pada oksigen terlarut ini. Oksigen dibutuhkan untuk pernapasan dan proses metabolisme. Pada akhirnya air yang benar-benar kekurangan oksigen menjadi zona mati dan tidak mampu lagi mendukung kehidupan.

Negara berkembang seperti Indonesia, pada umumnya Daerah Aliran Sungai (DAS) telah mengalami degradasi lingkungan yang serius akibat kegiatan manusia atau antropogenik, terutama pada sektor pertanian, kehutanan, perikanan, industri dan pariwisata.



Gambar 3 Perairan yang terjadi Eutrofikasi

Eutrofikasi diklasifikasikan menjadi empat kategori status trofik berdasarkan PERMEN LH Nomor 28 tahun 2009, yaitu sebagai berikut:

- a. Oligotrof adalah status trofik air danau dan atau waduk yang mengandung unsur hara dengan kadar rendah. Status tersebut menunjukkan kualitas air masih bersifat alamiah belum tercemar dari sumber unsur hara N dan P.
- b. Mesotrof adalah status trofik air danau dan atau waduk yang mengandung unsur hara dengan kadar sedang. Status tersebut menunjukkan adanya peningkatan kadar N dan P, namun masih dalam batas toleransi karena belum menunjukkan adanya indikasi pencemaran air.
- c. Eutrof adalah status trofik air danau dan atau waduk yang mengandung unsur hara dengan kadar tinggi. Status tersebut menunjukkan air telah tercemar oleh peningkatan kadar N dan P.
- d. Hipereutrof/Hipertrof adalah status trofik air danau dan/atau waduk yang mengandung unsur hara dengan kadar sangat tinggi, status ini menunjukkan air telah tercemar berat oleh peningkatan kadar nitrogen dan fosfor.

Tabel 4 Kriteria Status Trofik Danau

Status trofik	Kadar rata-rata total- N (miligram/Liter)	Kadar rata-rata total-P (miligram/Liter)
Oligotrof	<650	<10
Mesotrof	<750	<30
Eutrof	<1900	<100
Hipereutrof	>1900	>100

Sumber: (PERMEN LH, 2009)

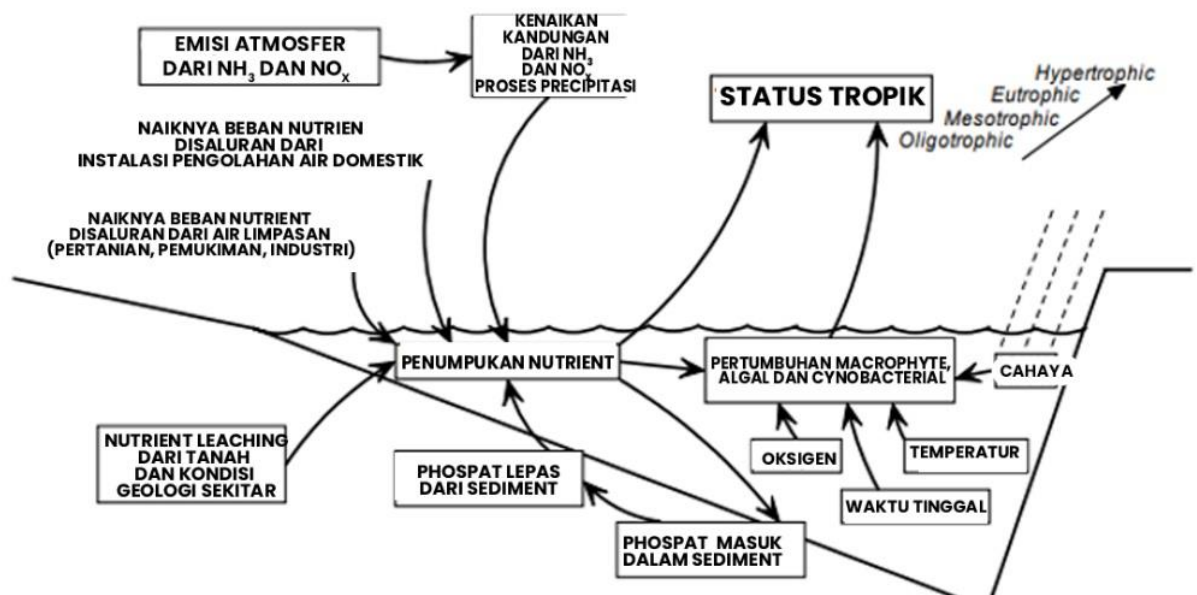
Eutrofikasi merupakan proses alamiah di alam, tetapi bila terjadi kontaminasi bahan-bahan nitrat dan fosfat akibat aktivitas manusia dan berlangsung terus-menerus, maka proses tersebut akan meningkatkan laju eutrofikasi di lingkungan perairan. Pada umumnya eutrofikasi perairan dibagi menjadi dua, yaitu eutrofikasi kultural (*cultural eutroication*) dan eutrofikasi alamiah (*natural eutroication*). Eutrofikasi kultural disebabkan oleh terjadinya proses peningkatan unsur hara di perairan oleh aktivitas manusia yang terjadi di sepanjang aliran sungai masuk inlet ke perairan, sedangkan eutrofikasi alamiah terjadi akibat adanya aliran

yagn masuk yang membawa detritus tanaman, garam-garaman dan disimpan dalam badan air selama waktu geologis (Yusal, 2021).

2.7.1 Faktor-Faktor Penyebab Eutrofikasi

Tinjau literatur mengenai faktor-faktor yang berkontribusi terhadap eutrofikasi. Jelaskan bagaimana pelepasan fosfat dan nitrogen ke dalam perairan dapat terjadi dari berbagai sumber seperti limbah pertanian, industri, dan domestik. Diskusikan juga faktor-faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi eutrofikasi, seperti kondisi hidrologi, temperatur, dan cahaya matahari.

PENYEBAB TERJADINYA EUTROFIKASI



Gambar 4 Ilustrasi sederhana faktor terjadinya eutrofikasi

Sumber:(Ngatia & Taylor, 2019)

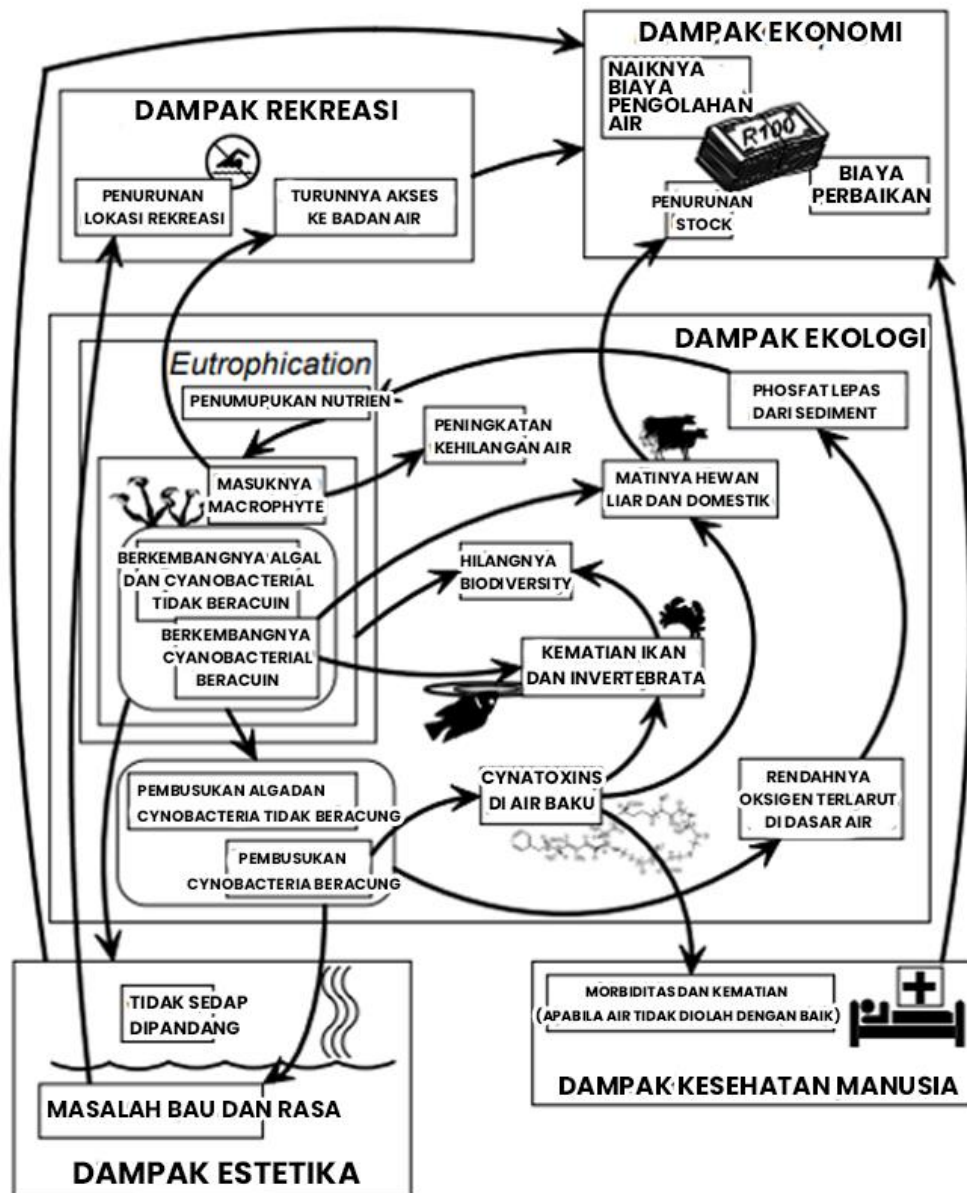
Eutrofikasi adalah suatu proses dan berguna untuk dapat mengkarakterisasi tahap di mana proses ini terjadi pada waktu tertentu disuatu badan air tertentu. 'Status trofik' badan air digunakan sebagai gambaran badan air untuk tujuan ini. Istilah-istilah berikut digunakan. Masalah kualitas air merupakan masalah yang serius dan hampir terus menerus. Lebih mudah untuk mengasosiasikan status trofik

di penampungan dengan pengukuran total fosfor dan klorofil a. Hubungan berikut antara status trofik dan variabel-variabel ini digunakan.

Eutrofikasi merupakan proses alamiah dan dapat terjadi pada berbagai perairan, tetapi bila terjadi kontaminasi bahan-bahan nitrat dan fosfat akibat aktivitas manusia dan berlangsung terus menerus, maka proses eutrofikasi akan lebih meningkat. Kejadian eutrofikasi seperti ini merupakan masalah yang terbanyak ditemukan dalam danau dan waduk, terutama bila danau atau waduk tersebut berdekatan dengan daerah urban atau daerah pertanian. Dilihat dari bahan pencemarannya eutrofikasi tergolong pencemaran kimiawi. Eutrofikasi terjadi karena adanya kandungan bahan kimia yaitu fosfat (PO_3^-). Suatu perairan disebut eutrofikasi jika konsentrasi total fosfat ke dalam air berada pada kisaran 35-100 $\mu\text{g/L}$. Eutrofikasi banyak terjadi di perairan darat (danau, sungai, waduk, dll). Sebenarnya proses terjadinya Eutrofikasi membutuhkan waktu yang sangat lama (ribuan tahun), namun akibat perkembangan ilmu teknologi yang menyokong modernisasi dan tidak diiringi dengan kearifan lingkungan maka hanya dalam hitungan puluhan atau beberapa tahun saja sudah dapat terjadi Eutrofikasi.

Khususnya di sektor pertanian, tingginya frekuensi penggunaan pupuk dan peningkatan beban hara non-sumber telah dikaitkan dengan penurunan kualitas air permukaan dan air tanah. Pencucian unsur hara dari tanah pertanian ke badan air permukaan sangat dipengaruhi oleh curah hujan. Selama hujan, unsur hara yang terakumulasi di permukaan tanah terbuang melalui limpasan ke sungai dan kemudian diangkut ke muara dan ke arah laut. Pengayaan muatan nutrisi di badan air mengakibatkan percepatan pertumbuhan fitoplankton melalui respon serapan hara oleh fitoplankton itu sendiri dan melalui fotosintesis. Dampak lebih lanjut dari pertumbuhan ini adalah kemungkinan ketidakseimbangan antara produksi dan konsumsi alga, diikuti dengan peningkatan sedimentasi bahan organik yang berasal dari alga, stimulasi dekomposisi mikroba dan konsumsi oksigen, serta penipisan oksigen, yang dikenal sebagai hipoksia. (Mahlil et al., 2020).

2.7.2 Dampak Eutrofikasi



Gambar 5 Dampak spesifik eutrofikasi
Sumber: (Ngatia & Taylor, 2019)

Eutrofikasi memiliki dampak serius terhadap lingkungan perairan, yang meliputi peningkatan produksi tanaman yang berlebihan, pertumbuhan alga yang berbahaya, serta peningkatan kejadian zona mati yang disebabkan oleh kondisi anoksik. Akibatnya, terjadi kematian ikan dan penurunan keanekaragaman satwa liar, serta hilangnya fasilitas rekreasi. Hipoksia pesisir juga berkontribusi pada pengasaman laut yang merugikan organisme pengapuran seperti moluska dan

krustasea. Air yang mengalami kondisi anoksik dan hipoksia sering kali terkait dengan peningkatan karbon dioksida, yang tidak hanya mengasamkan lingkungan laut tetapi juga mempengaruhi emisi karbon dioksida ke atmosfer.

Zona mati hipoksia dan anoksia mengacu pada area di perairan yang mengalami kematian fauna laut akibat kekurangan oksigen dan penurunan keanekaragaman hayati. Sejak tahun 1960-an, zona mati di wilayah pesisir telah menyebar luas, yang dipicu oleh peningkatan produksi primer sebagai akibat dari eutrofikasi laut. Eutrofikasi ini disebabkan oleh limpasan pupuk dari sungai dan pembakaran bahan bakar fosil, yang meningkatkan akumulasi partikel bahan organik dan aktivitas mikroba di dasar perairan. Hal ini berujung pada penurunan oksigen terlarut dan kematian massal ikan serta fauna laut lainnya.

Peningkatan kandungan nutrisi di perairan laut dari Amerika Serikat hingga Jepang, Laut Hitam, dan perairan pesisir Tiongkok, disebabkan oleh perkembangan biomassa, telah berdampak negatif terhadap ekosistem, kesehatan manusia, dan sektor rekreasi. Fitoplankton penghasil racun yang jumlahnya sekitar 60-80 spesies dari 400 yang diketahui, mampu menyebabkan pertumbuhan alga berbahaya yang dapat meracuni dan membahayakan ikan, burung, mamalia laut, serta manusia yang mengonsumsi ikan yang terkontaminasi.

Industri pariwisata di daerah pesisir, yang merupakan sumber ekonomi penting, terganggu oleh pertumbuhan alga akibat eutrofikasi nitrogen (N) dan fosfor (P), yang menurunkan daya tarik lingkungan investasi dan merusak infrastruktur industri pariwisata.

2.8 Keadaan Umum Wilayah Sungai Saddang, Kabupaten Pinrang

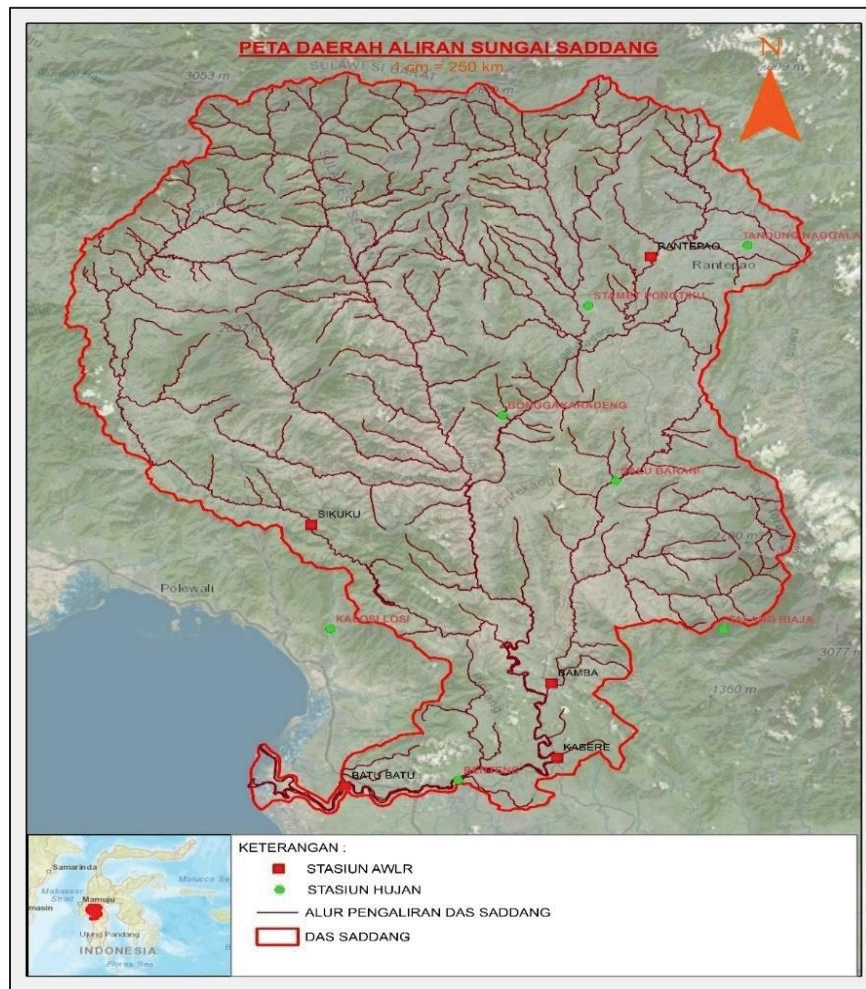
Wilayah Sungai (WS) Saddang, terletak di Provinsi Sulawesi Selatan, memiliki potensi sumber daya air yang besar dan penting bagi kehidupan masyarakat di sekitarnya. Salah satu potensinya adalah DI Saddang, yang merupakan daerah irigasi strategis dengan luas mencapai 60.300 Ha. Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Nomor: 04/PRT/M/2015 tentang Kriteria dan Penetapan Wilayah Sungai, lampiran V.109 menetapkan bahwa DAS Saddang termasuk dalam Wilayah Sungai Saddang dengan kode WS 05.15.A2 dan Kode DAS 004, yang melintasi Kabupaten Pinrang.

Kabupaten Pinrang sendiri terletak di dataran rendah sebagai kawasan hilir sungai, sehingga masalah eutrofikasi di sungai-sungai ini berpotensi memberikan dampak signifikan pada ekosistem pesisir dan laut.



Gambar 6 Peta Tematik Isu Strategis Lokal WS Saddang
Sumber: (BBWS Pompengan Jeneberang, 2014)

Wilayah Sungai Saddang, yang mencakup luas 10.230 km², adalah wilayah sungai lintas provinsi antara Sulawesi Selatan dan Sulawesi Barat. Wilayah ini meliputi 8 kabupaten dan 1 kota, yaitu Pangkep, Barru, Pinrang, Enrekang, Tana Toraja, Toraja Utara, Polewali Mandar, Mamasa, dan Pare-Pare. Sungai utama di wilayah ini adalah Sungai Saddang dengan luas 6.439,20 km², rata-rata panjang sungai 182 km, lebar rata-rata 80 m, dan memiliki 294 anak sungai. DAS Saddang, khususnya, merupakan tanggung jawab Balai Besar Wilayah Sungai Pompengan Jeneberan (BBWS Pompengan Jeneberang), yang meliputi kabupaten Mamasa, Toraja Utara, Tana Toraja, Enrekang, dan Pinrang.



Gambar 7 Peta DAS Saddang
Sumber: (BBWS Pompengan Jeneberang, 2017)

2.8.1 Prasarana Sumber Daya Air

DAS Saddang sebagai DAS yang memiliki luas paling besar 6,795.53 km². Dalam DAS Saddang terdapat potensi irigasi DI Saddang di bagian hilir dengan luasan mencapai 63.000 Ha. Bangunan bendung dan embung yang berada di DAS Saddang yaitu Bendung Gerak Benteng, Embung Lemo Menduruk dengan kapasitas tampungan 28.811 m³ dan Embung Tampang dengan kapasitas tampungan 5.670 m³. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) merupakan prasarana sumber daya air lainnya yang terdapat di DAS Saddang, yaitu PLTA Malea dengan kapasitas produksi 14,4 MW, dan PLTA Bakaru dengan kapasitas 126 MW (BBWS Pompengan Jeneberang, 2014)

. Sungai memiliki tiga bagian kondisi lingkungan yaitu hulu, hilir dan muara sungai. Ketiga kondisi tersebut memiliki perbedaan kualitas air, yaitu:

- a. Wilayah bagian hulu, kualitas airnya lebih baik, yaitu lebih jernih, mempunyai variasi kandungan senyawa kimiawi lebih rendah/sedikit, kandungan biologis lebih rendah.
- b. Wilayah bagian hilir mempunyai potensial tercemar jauh lebih besar sehingga kandungan kimiawi dan biologis lebih bervariasi dan cukup tinggi. Pada umumnya diperlukan pengolahan secara lengkap.
- c. Muara sungai letaknya hampir mencapai laut atau pertemuan sungai-sungai lain, arus air sangat lambat dengan volume yang lebih besar, banyak mengandung bahan terlarut, lumpur dari hilir membentuk delta dan warna air sangat keruh.

Hasil penelitian menunjukkan kualitas air Sungai Saddang menunjukkan parameter fisik, kimia dan biologi di beberapa titik telah melebihi baku mutu. Kandungan BOD, COD dan parameter lain meningkat karena sepanjang aliran sungai yang di mulai dari hulu hingga hilir banyak menerima limbah buangan dari hewan ternak, sedangkan berdasarkan status mutu air menunjukkan penurunan kualitas air dari hulu sampai ke hilir sungai dan sebaran polutan dengan aplikasi SIG zona distribusi penyebaran limbah tercemar ringan sampai tercemar berat sehingga perlu dilakukan pengendalian daya rusak air secara menyeluruh (Faudding, 2021).

2.8.2 Gambaran Umum Kabupaten Pinrang

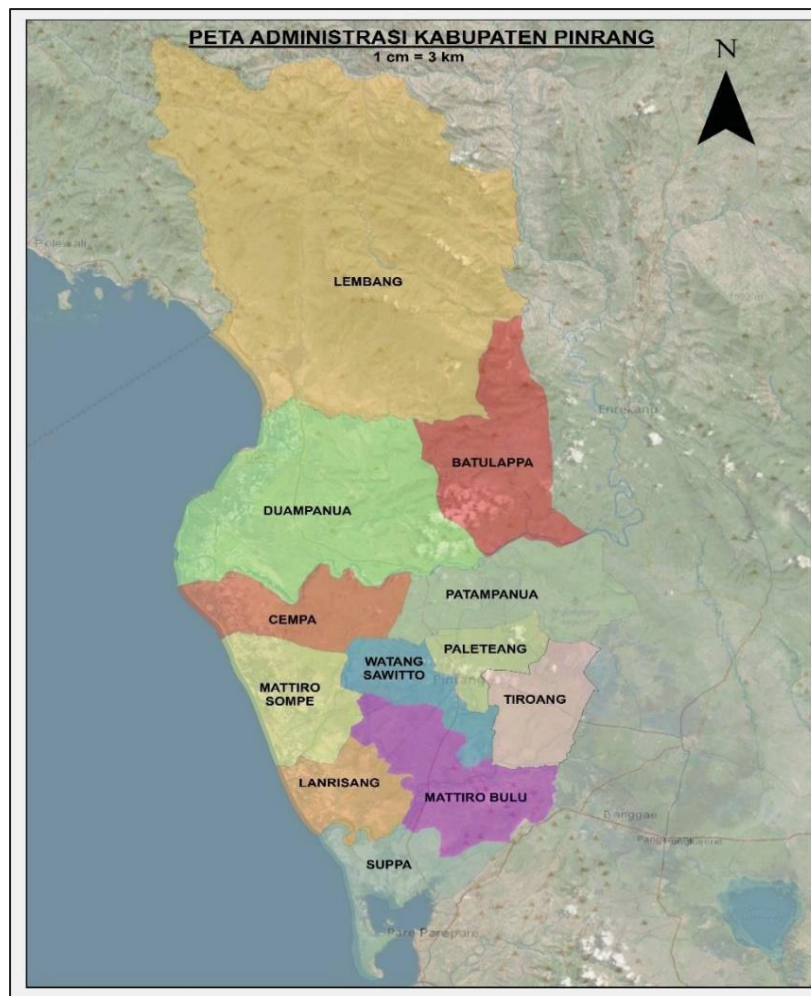
Kabupaten Pinrang mempunyai luas wilayah 1.967 km² dengan daerah administratif 12 kecamatan, dan terdiri 39 kelurahan serta 69 Desa yang meliputi 81 lingkungan dan 168 dusun. Adapun batas wilayah Kabupaten Pinrang sebagai berikut:

1. Sebelah Utara berbatasan dengan Kabupaten Tana Toraja.
2. Sebelah Timur berbatasan dengan Kabupaten Enrekang dan Sidrap.
3. Sebelah Barat dengan Selat Makassar serta Kabupaten Polewali Mandar.
4. Sebelah Selatan berbatasan dengan Kota Parepare.

Tabel 5 Luas daerah dan pembagian daerah administrasi menurut kecamatan

No	KECAMATAN	LUAS AREA (km ²)	KELURAHAN	DESA	LINGKUNGAN	DUSUN
1	Suppa	74.2	2	8	5	22
2	Mattiro Sompe	96.99	2	7	4	19
3	Lanrisang	73.01	1	6	3	16
4	Mattiro Bulu	132.49	2	7	6	19
5	Watang sawitto	58.97	8	-	17	-
6	Paleteang	37.29	6	-	14	-
7	Tiroang	77.73	5	-	13	-
8	Patampanua	136.85	4	7	13	19
9	Cempa	90.3	1	6	2	15
10	Duampanua	291.86	5	10	10	27
11	Batulappa	158.99	1	4	4	11
12	Lembang	733.09	2	14	5	41
TOTAL		1.961,77	39	69	96	181

Sumber: (BPS Kabupaten Pinrang, 2021)

**Gambar 8** Peta Administrasi Kabupaten Pinrang

Sumber: (BBWS Pompengan Jeneberang, 2017)

1. Sektor Pertanian & Perkebunan

Padi luas lahan 96.588 Ha, Produksi 605.317 Ton yang tersebar di 12 kecamatan. Durian Luas lahan 150 Ha, Jumlah populasi 10.326 pohon, produksi 13.216 kuintal, lokasi di Kecamatan Lembang Batulappa. Langsung luas lahan 126,32 Ha, jumlah populasi 12.532 pohon, produksi 8.318 kuintal, berada di lokasi Kecamatan Lembang, Kecamatan Batulappa dan Kecamatan Duampanua. Kelapa sawit luas lahan 735,5 Ha, jumlah produksi 13,17 ton, berada di Kecamatan Duampanua, Patampanua, Paleteang, Tiroang, Mattiro Bulu, Suppa dan Batu Lappa. Kopi Arabika dan Robusta Luas Lahan 398 Ha, luass Panen 310 Ha, Produksi 288 Ton, berada di Kecamatan Lembang.

2. Sektor Perikanan

Potensi perikanan Kabupaten Pinrang terdiri dari perikanan laut dan perikanan budaya potensi perikanan tangkapan terbesar berupa perikanan Budaya yang terbesar adalah perikanan tambak dengan populasi mencapai 23.925,73 Ton pada tahun 2014. Perikanan laut dengan produksi 12.823,03 Ton pada tahun 2014. Perikanan tambak merupakan potensi perikanan terbesar yang dimiliki Kabupaten Pinrang dengan komoditi yang dibudayakan adalah ikan bandang, udang widu dan udang vaname.

Perikanan laut produksi 12.823,03 ton, berada di Kecamatan Mattiro Sompe, Suppa, Lanrisang, Duampanua, Campa, dan Lembang. Udang Vaname Luas Lahan 164,2 Ha, produksi 535,3 Ton, berada di Kecamatan Suppa, Lanrisang, Duampanua dan Lembang. Ikan Air Tawar luas Lahan 17.441,01 Ha, produksi 2.812,98 Ton, tersebar di 12 Kecamatan. Ikan Bandeng luas lahan 14.862,2 Ha, produksi 18.183,5 Ton, berada di Kecamatan Suppa, Lanrisang, Mattiro Sompe, Campa, Duampanua dan Lembang. Udang Windu luas lahan 14.862,2 Ha, produksi 3.125,3 Ton, berada di Kecamatan Suppa, Lanrisang, Mattiro Sompe, Campa, Duampanua dan Lembang. Rumpun Laut luas lahan 3.582 Ha, Produksi 3.749 Ton, lokasi di Kecamatan Kecamatan Suppa.

3. Sektor Peternakan

Program pemerintah Kabupaten Pinrang dalam meningkatkan potensi peternakan memberikan bantuan ternak kepada kelompok tani. Pelatihan usaha tani,

pengembangan peternakan komoditas unggulan, pengendalian kesehatan hewan, serta pembangunan sumberdaya sarana dan prasarana.

Sapi potong luas lahan 1.800 Ha, jumlah populasi 22.324 ekor, produksi 3.956 ton, lokasi di Kec. Mattiro, Bulu, Suppa, Lembang, Duampanua, Batu Lappa, Patampanua. Ayam Kampung jumlah populasi 9.500 ekor, produksi 41.800 Kg, lokasi di Kecamatan Patampanua. Kambing jumlah populasi 16.772 ekor, produksi 19.724 ton, di lokasi Kec. Lembang, Bulu Lappa, Duampanua, Mattiro, Bulu Suppa. Ayam Ras Petelur luas lahan 450 Ha, Jumlah Populasi 478.787 Ekor, produksi 145.694 Kg, berada di Kecamatan Mattiro Bulu, Suppa, Lanrisang. Ayam Broiler luas lahan 160 Ha, Jumlah Populasi, 135.614 ekor, produksi 41.032 Kg, berada di lokasi Kec. Mattiro Bulu, Patampanua, Suppa, Lanrisang.

2.9 Model HEC-RAS

HEC-RAS merupakan program aplikasi untuk memodelkan aliran di sungai. *River Analysis System* (RAS), yang dibuat oleh *Hydrologic Engineering Center* (HEC) yang merupakan satu divisi di dalam *Institute for Water Resources* (IWR), di bawah *US Army Corps of Engineers* (USACE). HEC-RAS merupakan model satu dimensi aliran permanen (*steady flow*) dan aliran tidak permanen (*unsteady flow*). HEC-RAS memiliki empat komponen analisa sungai model satu dimensi yaitu hitungan profil muka air aliran sedimen, dan hitungan kualitas air. Satu elemen penting dalam HEC-RAS adalah keempat komponen tersebut memakai data geometri yang sama, hitungan hidraulika yang sama, serta beberapa fitur desain hidraulik yang dapat diakses setelah hitungan profil muka air berhasil dilakukan (Istiarto, 2014).

Program HEC-RAS dapat menelusuri kondisi airsungai dalam pengaruh hidrologi dan hidroliknya, serta penanganan sungai lebih lanjut sesuai kebutuhan. Program HEC-RAS ini dapat digunakan untuk Analisa kondisi air sungai. Hasil analisa tersebut dapat diketahui ketinggian muka air dan limpasan apabila kapasitas tampungan sungai tidak mencukupi, serta kondisi kualitas air sungai (Wigati et al., 2019). Secara umum perangkat lunak ini menyediakan fungsi-fungsi yaitu manajemen *file*, *input data* dan pengeditan, analisis hidraulika, dan keluaran.

Program HEC-RAS memberikan kemudahan dengan tampilan grafisnya. Element yang paling penting dalam program HEC-RAS ini adalah tersedianya geometri saluran, baik memanjang maupun melintang. Adanya HEC-RAS maka tinggi muka air dapat diketahui, yang berguna sebagai acuan untuk menentukan elevasi puncak krib. Versi terbaru dari program HEC-RAS telah mampu mensimulasikan aliran dua dimensi. Selain itu, versi terbaru juga menyediakan komponen analisa sistem sungai yaitu *flood plate mapping*.

Program HEC-RAS memerlukan parameter-parameter dalam memodelkan suatu aliran hidraulika. HEC-RAS dalam menjalankan fungsinya, parameter yang digunakan harus menyesuaikan pemodelan yang dipakai. Berdasarkan porses pemodelan kualitas air pada aliran terbuka. HEC-RAS memerlukan parameter *nutrient* sebagai masukan untuk memodelkan kualitas air (Istiarto, 2014). Variabel untuk parameter nutrient HEC-RAS adalah sebagai berikut;

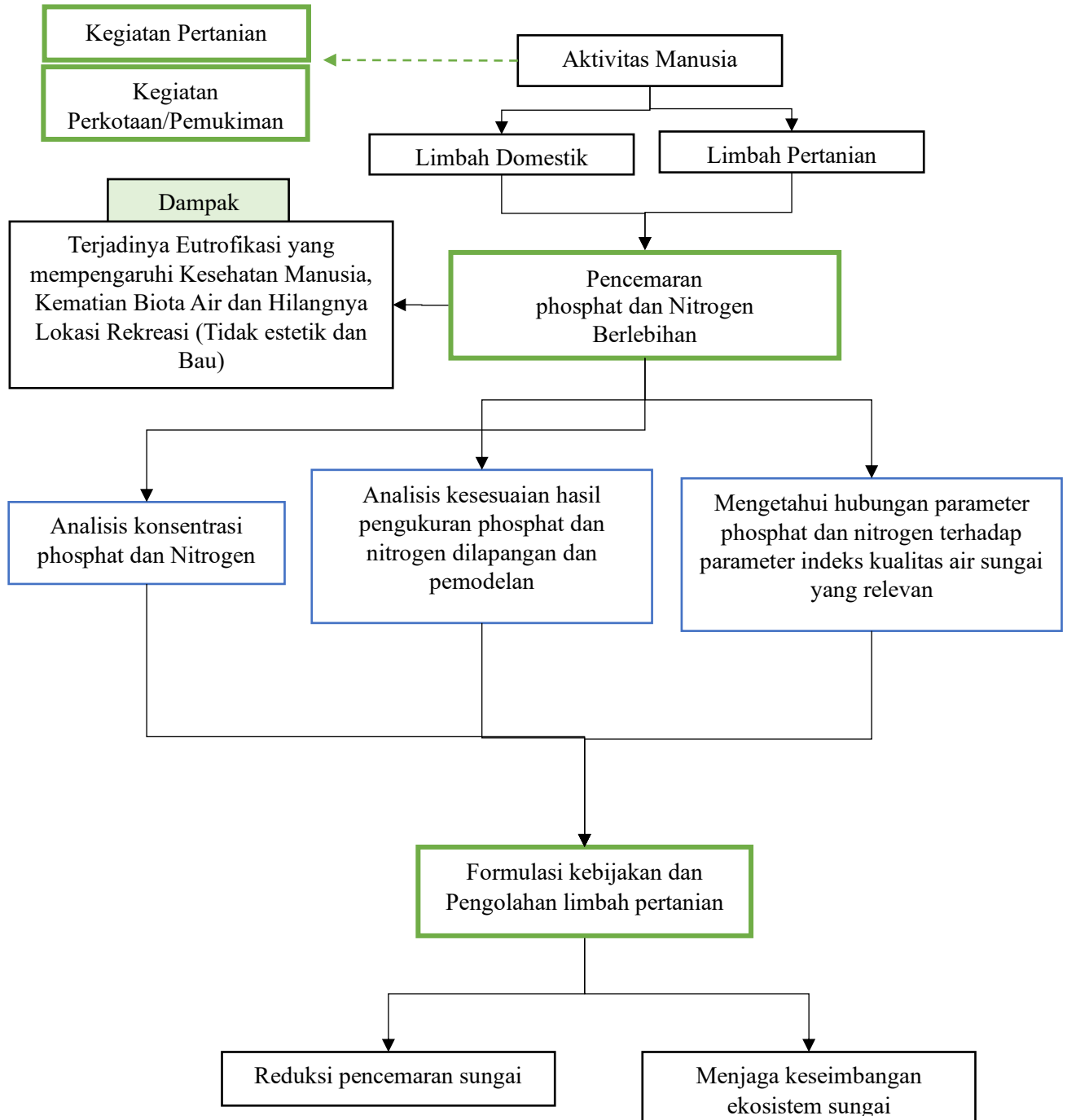
1. *Dissolved Nitrite Nitrogen* (NO_2)
2. *Dissolved Nitrate Nitrogen* (NO_3)
3. *Dissolved Organic Nitrogen* (OrgN)
4. *Dissolved Ammonium Nitrogen* (NH_4)
5. *Dissolved Organic Phosphorus* (OrgP)
6. *Dissolved Orthophosphate* (PO_4)
7. *Algae*
8. *Biological Oxygen Demand* (BOD)
9. *Dissolved Oxygen* (DO)
10. Temperatur

2.10 Metode Pengujian Statistik

Uji statistik perlu dilakukan untuk menguji apakah hasil penelitian yang dilakukan adalah benar. Beberapa metode digunakan dalam menguji atau memvalidasi hasil analisis kualitas air. Umumnya, metode pengujian statistik yang digunakan untuk proses validasi pada mode HEC-RAS Kesalahan Relatif (KR), dan Uji Nash-Sutcliffe (NSE).

2.11 Kerangka Pikir Penelitian

Penjelasan secara garis besar tahapan dalam penelitian dituangkan kedalam kerangka pikir penelitian. Adapun tahap tersebut dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 9 Kerangka Pikir Penelitian

2.12 Matriks Penelitian Terdahulu

No	Tahun	Judul	Nama Penulis	Variabel Diteliti								Metode
				V	Q	A	NH4	PO4	DO	BOD	T	
1	2022	An Integrated Approach for Water Quality Modelling of Soan River Using HEC-RAS Journal of Applied Engineering Sciences DOI: https://doi.org/10.2478/jaes-2022-001	1. Zakaullah 2. Naeem Ejaz 3. Awais Zafar	✓	✓	✓	✕	✕	✓	✓	✕	Pemodelan kualitas air dengan HEC-RAS.
2	2020	Modelling of a Surface Flow Constructed Wetland using the HEC-RAS and QUAL2K models: a Comparative Analysis General Wetland Sciences DOI: https://doi.org/10.1007/s13157-020-01349-7	1. Linpeng Xiao 2. Zhi Chen 3. Fayi Zhou 4. Sarnia ben Hammouda 5. Yinying Zhu	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Model HEC-RAS dan model QUAL2K
3	2022	Assessment of Water Quality of Taunsa-Panjna (TP) Link Canal Using HEC-RAS Research Square DOI: https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1378524/v1	1. Abid Latif 2. Zain un Arifeen 3. Mohammad Hammad 4. Talat Hussain 5. Shehryar Khan	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Menggunakan Model HEC-RAS

4	2020	Evaluation of ytoplankton Growth in Atsumi Bay as an Effect of Nutrient Input during Rainfall Journal of Water and Environment Technology Doi: https://doi.org/10.2965/jwet.19-025	1. Teuku Mahlil 2. Takanobu Inoue 3. Kuriko Yokota	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	Menggunakan Fortran dengan persamaan Navier-Stokes Equation
5	2016	Water Quality Modeling Study for Umhlangane River, South Africa http://hdl.handle.net/10413/14253	1. Thabo Chadwick Macholo	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✗	Menggunakan model HEC-RAS dan HCIS (Fortran)
6	2023	<i>Water Quality Modelling for Nitrate Nitrogen Contol Using HEC-RAS: Case Study of Nakdong River in South Korea</i> Journal Water DOI: https://doi.org/10.3390/w15020247	2. Jongchan Kim 3. Andreja Jonoski 4. Dimitri P. Solomatine 5. Peter L. M. Goethals	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	Model HEC-RAS
7	2020	Water Quality Modelling of Bhima River by Using HEC-RAS Software International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) DOI: https://doi.org/10.35940/ijeat.B3481.029320	1. Pooja D. Taralgatti 2. R.S. Pawar 3. G.S. Pawar 4. Majeed Hanza Nomaan 5. C.R. Limkar	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	Model HEC-RAS

8	(2019)	Studi Analisis Nilai Sebaran Kadar Oksigen Terlarut dalam Aliran (<i>Dissolved Oxygen</i>) Pada Sungai Metro Kota Malang. http://repository.ub.ac.id/id/eprint/180368/	1. Ach Maulidar Rizki	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Model HEC-RAS
9	2020	<i>Analisis Daya Tampung Sungai terhadap Beban Pencemar Organik</i> <i>JTAM Teknik Lingkungan Universitas Lambung Mangkurat</i> DOI: https://doi.org/10.20527/jernih.v3i1.470	1. Afresa Aman 2. Rony Riduan 3. Chairul Abdi	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	Model HEC-RAS
10	2019	<i>Pola Sebaran DO dan BOD di Parit Tokaya Pontianak</i> JeLAST: Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang DOI: http://dx.doi.org/10.26418/jelast.v6i1.32210	1. Pratiwi Putri Dri Randy 2. Nurhayati 3. Azwa Nirmala	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	Model HEC-RAS