

BAB II TEORI DASAR

2.1 Air

Air merupakan sumber daya alam sangat penting yang dibutuhkan oleh semua makhluk hidup yang ada di bumi. Namun, sejalan dengan peningkatan taraf hidup manusia maka kebutuhan air pun meningkat, sehingga air menjadi barang langka di kota besar. Tidak mudah mendapatkan sumber air bersih yang bebas dari pencemaran, karena air banyak digunakan oleh kegiatan industri dalam proses produksinya. Pada sisi lain, tanah merupakan resapan air yang sudah terganggu fungsi untuk berbagai penggunaan seperti perumahan dan industri[5].

2.2 Pencemaran Sungai

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001, pencemaran air adalah masuknya makhluk hidup, zat, energi atau komponen lain kedalam air oleh kegiatan manusia, sehingga kualitas air menurun sampai ke tingkat tertentu sehingga menyebabkan air tidak dapat digunakan sesuai fungsinya. Secara umum ada dua sumber pencemaran air, yaitu pencemaran dari titik tetap dan titik bergerak. Sumber pencemaran tetap berupa pabrik, fasilitas pengolahan air limbah, dan sumber tidak tetap sulit untuk di deteksi karena tidak bisa ditelusuri ke tempat asal sumber pencemaran, dapat berupa hasil sisa rumah tangga, peternakan hewan, pupuk. Industrialisasi dan urbanisasi telah membawa dampak paling besar pada lingkungan. Pembuangan limbah industri dan domestik langsung ke perairan merupakan penyebab utama pencemaran air.

Pencemaran air terjadi ketika air terkontaminasi oleh bahan limbah yang tidak dapat diurai secara alami oleh air. Dengan kata lain, apapun yang ditambahkan ke air, ketika melampaui kapasitas air untuk mengurainya sudah dikategorikan air tercemar. Penyebab utama pencemaran air adalah tindakan manusia yang tidak bertanggung jawab sehingga zat-zat yang tidak semestinya langsung di buangan kedalam sungai tanpa di olah terlebih dahulu[6].

2.3 Limbah

Limbah adalah sisa produksi dari industri maupun domestik (rumah tangga) yang tidak dapat di gunakan kembali. Limbah sangat erat hubungannya dengan pemukiman semakin padat pemukiman akan semakin banyak limbah yang dikeluarkan seperti sisa-sisa mencuci dengan deterjen[4].

2.3.1 Limbah Domestik

Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No.112 Tahun 2003, pasal 1 ayat 1 menyebutkan bahwa air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari usaha dan atau kegiatan sehari hari.

Menurut Daryanto (1995), limbah domestik dapat digolongkan ke dalam tiga jenis, yaitu limbah cair, limbah gas dan limbah padat. Limbah domestik cair berasal dari kegiatan sehari hari misalnya memasak, mandi, mencuci dan lain-lain. Selain itu, limbah berasal dari kegiatan warga yang buang air besar (BAB) sembarangan di sungai. Limbah domestik gas berasal dari pembakaran sampah[25]. Limbah domestik padat berupa sampah plastik. Sumber sampah berhubungan dengan tata guna lahan yang mempengaruhi tipe dan karakteristik sampah.

2.3.2 Limbah Industri

Limbah industri adalah limbah yang dihasilkan dari proses industri bergantung dari jenis industri dan proses produksi. Air limbah industri didominasi oleh sifat fisika/kimiawi terutama logam berat. Logam berat tersebut diantaranya limbah B2 dan B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Limbah B3 adalah sisa suatu usaha atau kegiatan yang mengandung bahan-bahan yang beracun. Menurut keputusan Undang Undang No. 32 tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup yang dimaksud dengan bahan berbahaya dan beracun adalah zat, energi atau komponen lain yang karena konsentrasi, jumlah atau sifatnya, yang terjadi secara langsung atau tidak langsung, yang dapat merusak, mencemarkan, dan membahayakan lingkungan hidup. Karakteristik limbah B3 adalah mudah terbakar karena mengandung alkohol, mudah meledak karena menghasilkan gas, dan bersifat reaktif saat bereaksi hebat dengan air seperti sianida dan sulfida. Untuk

limbah B2 seperti plastik dan botol plastik membutuhkan waktu yang sangat lama berkisar antara 100 tahun atau lebih untuk bisa di uraikan[7].

Tabel 2. 1 Bahan dan kandungan limbah B3[7]

No	Jenis Logam	Efek bagi lingkungan dan kesehatan	Sumber
1	As (<i>arsenic</i>)	Sangat beracun	Proses pertambangan. Industri insektisida arsenik dan pembakaran bahan bakar minyak dan gas
2	Cu (<i>copper</i>)	Beracun bagi biota dan ikan. Konsentras tinggi menyebabkan iritasi	Air limbah proses elektroplating, industri pembuatan soda kostik, cat, pestisida dan kegiatan pertambangan
3	Fe (<i>iron</i>)	Menurunkan estetika (air keruh dan bau amis warna coklat pada baju)	Bijih besi
4	Pb (<i>lead</i>)	Kerusakan otak dan ginjal	Industri pembuatan cat dan soda kostik serta pertambangan
5	Se (<i>selenium</i>)	Beracun jika dihirup	Industri pembuatan komponen listrik
6	NH ₃ (<i>amoniak</i>)	Gangguan pada paru paru dan beracun	Urin dan tinja, hasil oksidasi mikrobiologis zat-zat protein dan air limbah industri

			penyamakan kulit, pupuk.
7	Sianida (HCN)	Beracun	Industri tapioka, pengolahan emas
8	Fenol nitrofenol dan klorofenol	Gangguan pada paru-paru dan beracun	Industri obat-obatan, tekstil, lem, kayu lapis, limbah rumah sakit, serta eksplorasi minyak dan gas

Tabel 2. 2 Limbah beracun B2 [7]

No	Jenis bahan	Sumber
1	Limbah Anorganik	sampah plastik, sisa sabun, limbah minyak, sampah kain, botol plastik,
2	Limbah Organik	Kulit telur, sisa-sisa makan, kulit pohon, kotoran hewan, kotoran manusia, sisa sayuran, daun daun, rumah jagal hewan

2.4 Parameter Pengujian Sampel Fisika dan Kimia

Parameter kimia dan fisika dalam penelitian air limbah terdiri atas:

2.4.1 Temperatur (Suhu)

Suhu sangat mempengaruhi pola penyebaran biota perairan. Secara umum kenaikan suhu sejalan dengan meningkat laju pertumbuhan. Dampak yang terjadi akibat peningkatan suhu berupa penurunan jumlah oksigen terlarut dan peningkatan reaksi kimia, yang berdampak pada berkurangnya aktivitas kehidupan organisme perairan[8].

2.4.2 Derajat Keasaman (pH)

pH adalah besaran yang digunakan untuk mengetahui derajat keasaman pada zat cair. pH air memiliki nilai rentang antara 4 sampai 9. Air dengan pH lebih kecil dari 7 bersifat asam, sedangkan pH yang lebih besar dari 7 bersifat basa dan pH = 7 bersifat netral. Perubahan pH tergantung pada polutan air. pH air yang baik adalah pH yang mendekati netral[6].

2.4.3 Total Dissolved Solid (TDS)

TDS merupakan jumlah zat padat terlarut yang digunakan sebagai indikator dari jumlah partikel atau zat yang terlarut dalam air, baik berupa senyawa anorganik maupun senyawa organik. Satuan yang dipakai adalah miligram per liter (mg/l). Bahan-bahan yang sering ditemukan di perairan adalah *bikarbonat* (HCO_3) dan *magnesium* (Mg). Air buangan yang sering mengandung molekul sabun, deterjen dan *surfaktan* yang larut dalam air berasal dari air buangan rumah tangga dan industri pencucian[6].

2.4.4 Resistivitas

Resistivitas atau tahanan jenis suatu bahan adalah besaran yang menunjukkan tingkat hambatan terhadap arus listrik. Semakin besar nilai resistivitas pada suatu bahan, maka bahan tersebut semakin sulit untuk dilalui arus listrik. tahanan jenis diberikan simbol ρ . Tahanan jenis adalah kebalikan dari daya hantar jenis yang diberikan simbol σ . sehingga, $\rho = 1/\sigma$ $\rho = 1/\sigma$. Satuan ρ adalah Ohm[11].

2.4.5 Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

Teknik dari AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) adalah teknik atau metode penguraian molekul menjadi atom atau bisa disebut sebagai atomisasi dengan energi dari arus listrik atau api[19]. AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) banyak digunakan untuk analisis unsur dan banyaknya sinar yang diserap berbanding lurus dengan kadar zat oleh karena itu yang mengasorpsi sinar adalah atom, ion atau senyawa logam berat harus diubah terlebih dahulu menjadi bentuk atom [20].

2.5 Sifat Kelistrikan Air

Sifat kelistrikan air adalah karakteristik dari air dalam menghantarkan arus listrik. Air dapat dianggap sebagai medium listrik seperti pada kawat penghantar listrik, sehingga mempunyai tahanan jenis (resistivitas). Kenyataan di alam bebas, kebanyakan air telah bercampur dengan sedimen dan mineral, yang membuat molekul air mengalami ionisasi lalu menjadikan air tersebut dapat menghantarkan arus listrik bisa dilihat dari Tabel 2.3 nilai resistivitas material-material bumi.

Tabel 2. 3 Nilai resistivitas material material bumi[14].

Material	Resistivitas Ohm
Kalsit	$1 \times 10^{12} - 1 \times 10^{13}$
Andesit	$1,7 \times 10^2 - 45 \times 10^4$
Kerikil kering	600 - 10.000
Gamping	500 - 10.000
Basal	200 - 100.000
Granit	200 - 100.000
Kwarsa	500 - 800.000
Pirit	0,01 - 100

Batu pasir	50 - 500
Batu tulis	20 - 2.000
Lempung	1 - 100
Pasir	1- 1.000
Air tanah	0,5 - 300
Air asin	0,2

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh *Anthony C Bevilacqua* air yang sangat murni yang di teliti masih memiliki nilai hambatan (resistivitas), ada tiga senyawa yang tercampur dalam air murni yaitu HCl untuk senyawa asam, NaOH untuk senyawa basa dan NaCl untuk senyawa garam[12].

2.6 Prinsip Dasar Metode Resistivitas

Konsep dasar metode resistivitas adalah Hukum Ohm. Beda potensial akan berbanding lurus dengan arus sehingga dapat dituliskan :

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.1)$$

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.2)$$

R adalah resistivitas bahan (Ohm), I adalah arus (ampere), dan V adalah tegangan (volt).

Jika medium homogen isotropis dilalui arus I dan medan listrik E elemen arus dI melalui luasan dA dengan rapat arus J maka akan berlaku hubungan

$$dI = \vec{J} \cdot d\vec{A} \quad (2.3)$$

Hukum dasar kelistrikan yang digunakan pada metode geolistrik adalah Hukum Ohm.

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (2.4)$$

E dalam volt per meter dan σ adalah konduktivitas medium dalam siemens per meter (S/m) atau (Ω_{-m}). Medan listrik adalah gradien dari potensial skalar[14].

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}V \quad (2.5)$$

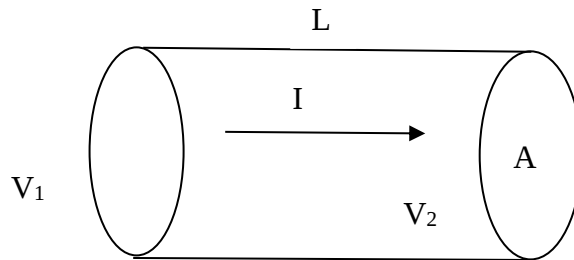
Sehingga di dapatkan

$$\vec{J} = -\sigma \vec{\nabla}V \quad (2.6)$$

Apabila arus tetap dengan koefisien konduktivitas σ konstan, akan diperoleh persamaan Laplace dengan potensial harmonis[16].

2.6.1 Hukum dasar Ohm

Untuk arus listrik sederhana (sejajar), arus listrik I yang melalui suatu bahan berbentuk silinder Gambar 2.1 akan berbanding dengan luas penampang A , berbanding lurus dengan beda potensial antara ujung-ujungnya ΔV , dan berbanding terbalik dengan panjang L .



Gambar 2. 1 Arus listrik merata dan sejajar dalam sebuah silinder oleh beda potensial pada kedua ujungnya[11].

Dapat di tuliskan

$$I = \sigma A \Delta V / L \quad (2.7)$$

$$\Delta V = V_1 - V_2 \quad (2.8)$$

Sehingga

$$I = A \Delta V / \rho L \quad (2.9)$$

Untuk arus listrik menyebar simetri bola, maka kita asumsikan arus listrik yang menembus permukaan bola berongga yang luas A , beda potensial dV dan tebal adalah dr antara dalam dan luar .

$$I = -\frac{A}{\rho} \frac{dV}{dr} \quad (2.10)$$

Diketahui luas permukaan bola $A = 4\pi r^2$ sehingga persamaan menjadi.

$$I = -\frac{4\pi r^2}{\rho} \frac{dV}{dr} \quad (2.11)$$

2.7 Metode Geolistrik

Metode geolistrik resistivitas pada umumnya bertujuan untuk mengetahui struktur atau kondisi bawah permukaan tanah berdasarkan pada nilai resistivitanya dengan melakukan pengukuran di permukaan bumi. Terdapat dua jenis pengukuran metode resistivitas, yaitu:

2.7.1 Pengukuran di laboratorium

Resistivitas atau tahanan jenis dapat ditentukan dengan menggunakan Hukum Ohm

$I = A \frac{\Delta V}{\rho L}$ di anggap I melewati bahan yan berbentuk silinder dengan luas penampang A dan panjang L dan diberi beda tegangan ΔV antar ujung-ujungnya.

2.7.2 Pengukuran di Lapangan

Pengukuran di lapangan bisa dilakukan dengan cara memasukan empat buah elektroda, dua elektroda arus dan dua lagi elektroda potensial biasanya di kombinasikan dengan konfigurasi elektroda.

2.7.3 Sounding

Sounding adalah penyelidikan perubahan resistivitas bawah permukaan kearah vertikal. Dengan cara titik ukur yang tetap. Jarak elektroda arus dan tegangan diubah/divariasikan. Konfigurasi elektroda yang biasanya dipakai adalah konfigurasi *Schlumberger*[11].

2.7.4 Traversing atau Mapping

Traversing atau *Mapping* adalah penyelidikan perubahan resistivitas bawah permukaan kaerah lateral (horizontal). Dengan cara jarak elektroda arus dan tegangan tetap, titik ukur dipindah/digeser secara horizontal. Konfigurasi elektroda yang biasa dipakai adalah konfigurasi *Wenner* atau dipol-dipol[11].

2.8 Potensial Pada Bumi Homogen Isotropis

Lapisan bumi yang bersifat homogen isotropis dianggap pendekatan sederhana dalam penentu resistivitas tahanan jenis batuan bumi, sehingga resistivitas tahanan jenis ρ dianggap tidak bergantung pada sumbu kooordinat. Arus tunggal I menyebabkan timbulnya distribusi potensial. Maka aliran arus yang mengalir dalam bumi homogen isotropis secara matematis berdasarkan pada Hukum kekekalan Muatan dapat dituliskan sebagai berikut[13].

$$\nabla \cdot \vec{J} = -\frac{\partial q}{\partial t} \quad (2.12)$$

J adalah rapat arus (A/m^2) dan q adalah rapat muatan (C/m^3). Persamaan diatas dianggap persamaan kontinuitas. apabila arus tetap maka persamaan diatas menjadi:

$$\nabla \cdot \vec{J} = 0 \quad (2.13)$$

Hukum Ohm menyatakan bahwa besar rapat arus ($\vec{J}$) akan sebanding dengan besaran medan listrik ($\vec{E}$), sehingga persamaan diatas bisa dituliskan:

$$\vec{J} = -\sigma \nabla V \quad (2.14)$$

Apabila mediumnya homogen isotropis, maka arah J dengan arah E dan σ konstan.

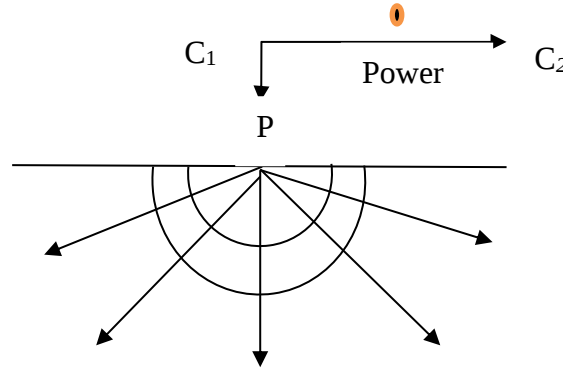
dimana : $\sigma = 1/\rho$ = hambatan medium (mho/m), V = potensial listrik (volt)

Dari persamaan (2.13) dan (2.14) untuk medium homogen isotropis ρ konstan, maka σ juga konstan atau $\sigma = 0$, sehingga menjadi persamaan Laplace sebagai berikut:

$$\nabla^2 V = 0 \quad (2.15)$$

Persamaan 2.15 untuk arus listrik searah dalam medium homogen isotropis memenuhi persamaan Laplace.

2.9 Potensial Elektroda Arus Tunggal pada Permukaan Medium Isotropis



Gambar 2. 2 Sumber arus tunggal di permukaan medium homogen isotropis[14].

Bumi yang berbentuk setengah bola homogen isotropis memiliki konduktivitas udara = 0. Dengan demikian, arus I yang dialirkan oleh sebuah elektroda pada titik P di permukaan akan tersebar ke semua arah dengan besaran yang sama (Gambar 1). Potensial pada suatu jarak r dari titik P hanya merupakan fungsi r saja. Persamaan Laplace yang berkaitan dengan kondisi ini dalam koordinat bola[13].

$$\frac{I}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial V}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial V}{\partial \phi^2} = 0 \quad (2.16)$$

Mengingat arus yang mengalir simetri terhadap arah θ dan ϕ pada arus tunggal, maka persamaan diatas menjadi

$$\frac{\partial^2 V}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial V}{\partial r} = 0 \quad (2.17)$$

Dengan demikian potensial di setiap titik yang berhubungan dengan sumber arus pada permukaan bumi yang homogen isotropis adalah

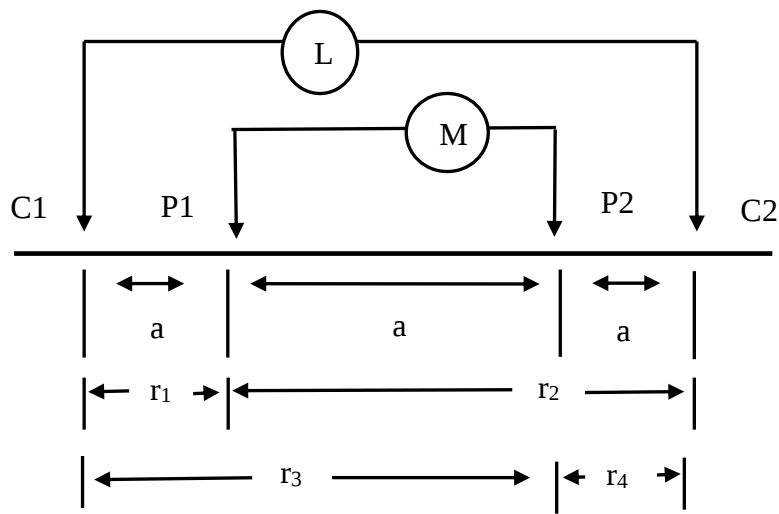
$$V = \frac{1}{r} \frac{I \rho}{2\pi} \quad (2.18)$$

Atau

$$\rho = 2\pi r \frac{V}{I} \quad (2.19)$$

2.10 Potensial Dua Elektroda Arus pada Permukaan Homogen Isotropis

Pada pengukuran geolistrik resistivitas, biasanya digunakan dua buah elektroda arus C di permukaan dan dua buah elektroda P beda potensial.



Gambar 2. 3 Dua elektroda arus dan potensial di permukaan bumi homogen isotropi

Potensial di titik P_1 yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 yang disebabkan arus elektroda C_1 dan C_2 adalah

$$V_1 = \frac{I\rho}{2\pi r_1} \text{ dan } V_2 = -\frac{I\rho}{2\pi r_2} \quad (2.20)$$

Maka di dapatkan beda potensial di titik P_1 akibat arus C_1 dan C_2 adalah

$$V_1 - V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.21)$$

Potensial yang timbul pada titik P_2 akibat dari elektroda C_1 dan C_2 , sehingga di dapatkan beda potensial antara titik P_1 dan P_2 menjadi

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right] = \frac{I\rho}{K} \quad (2.22)$$

Atau

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \rightarrow K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right)} \quad (2.23)$$

K adalah faktor geometri merupakan besaran koreksi letak kedua elektroda potensial terhadap letak kedua elektroda arus.

Nilai resistivitas pada persamaan (2.23) merupakan nilai resistivitas semu yang diperoleh dari hasil pengukuran di lapangan. Harga resistivitas yang sebenarnya dapat diperoleh dengan melakukan suatu proses perhitungan, secara manual atau dengan bantuan komputerisasi. Perhitungan manual bisa dibantu dengan beberapa jenis kurva yang dikenal dengan kurva standar dan kurva bantu. Sedangkan dengan cara komputerisasi membutuhkan software yaitu Ip2win.

2.11 Konfigurasi Elektroda Wenner

Konfigurasi *wenner* merupakan konfigurasi yang tersusun dari empat elektroda, dua elektroda arus dan dua lagi adalah elektroda potensial. Elektroda elektroda disusun secara satu garis terhadap titik pengukuran sehingga menjadi seperti ini $AM = MN = NB + \alpha$ [11].

$$K = 2\pi \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]^{-1} \quad (2.24)$$

Faktor koreksi dari konfigurasi *Wenner* ini bisa dikatakan $r = a$, $r_2 = 2a$, $r_3 = 2a$, $r_4 = \alpha$

$$K = 2\pi \left[\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} \right) - \left(\frac{1}{2a} - \frac{1}{a} \right) \right]^{-1}$$

$$K = 2\pi \left[\left(\frac{2-1}{2a} \right) - \left(\frac{1-2}{2a} \right) \right]^{-1}$$

$$K = 2\pi \left[\frac{1}{2a} + \frac{1}{2a} \right]^{-1}$$

$$K = 2\pi \left[\frac{1}{a} \right]^{-1}$$

$$K = 2\pi a \tag{2.25}$$

α adalah jarak antar elektroda.