

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Permasalahan lingkungan dalam topik penelitian ini adalah pencemaran airtanah. Untuk mengetahui konsep pencemaran airtanah, harus mengetahui konsep dasar mengenai keberadaan airtanah, jenis airtanah, dan hubungan airtanah dengan kondisi alam serta aktivitas manusia. Interaksi antara airtanah dengan kondisi alam dan manusia akan memberikan dampak pada airtanah. Dampak tersebut dapat mempengaruhi jumlah dan kualitas airtanah. Contoh dampak buruk dari tidak adanya pengelolaan airtanah yang baik adalah pencemaran airtanah.

#### **2.1 Hidrogeologi**

Hidrogeologi adalah studi tentang hukum-hukum terjadinya gerakan airtanah (Suharyadi, 1984). Menurut Heath (2004), hidrogeologi atau hidrologi airtanah merupakan cabang ilmu hidrologi yang mempelajari keberadaan, perpindahan, dan kualitas air yang terdapat di bawah permukaan bumi. Hidrogeologi mempelajari tentang hubungan antara material geologi dengan air. Hal-hal yang termasuk di dalamnya antara lain, yaitu:

- a. Pergerakan air dari permukaan ke bawah permukaan yang dipengaruhi oleh keadaan topografi
- b. Sifat hidrolika batuan yang berhubungan dengan susunan lapisan batuan di bawah permukaan, dan
- c. Eksplorasi, eksploitasi, dan pelestarian airtanah

Airtanah adalah sejumlah air yang terdapat di bawah permukaan tanah, yang dapat dikumpulkan dengan sumur-sumur, terowongan atau sistem drainase, disebut juga aliran yang mengalir secara alami ke permukaan tanah melalui pancaran (Bouwer, 1978; Kodoatie, 1996). Jumlah airtanah yang terdapat di bumi 1,69% dengan komposisi 0,76% air tawar dan 0,93% air asin (Kodoatie, 1996).

### 2.1.1 Karakteristik Batuan Terhadap Airtanah

Berdasarkan sifat batuan terhadap kemampuan batuan untuk menyimpan dan mengalirkan airtanah, batuan dapat dibedakan menjadi 4 jenis (Suharyadi, 1984) yaitu:

#### a. Akuifer

Lapisan batuan yang mampu menyimpan dan mengalirkan airtanah dalam jumlah yang berarti. Lapisan ini bersifat *permeable*. Contoh dari akuifer adalah pasir, kerikil, batupasir, dan batugamping.

#### b. Akuiklud

Lapisan batuan yang mampu menyimpan airtanah namun tidak mampu mengalirkan airtanah. lapisan batuan ini bersifat *impermeable*. Contoh dari akuiklud adalah lempung, *shale*, tuf halus, dan *silt*

#### c. Akuifug

Lapisan batuan yang tidak dapat menyimpan dan mengalirkan airtanah. Contoh dari akuifug adalah granit dan batuan yang kompak, keras dan padat.

#### d. Akuitar

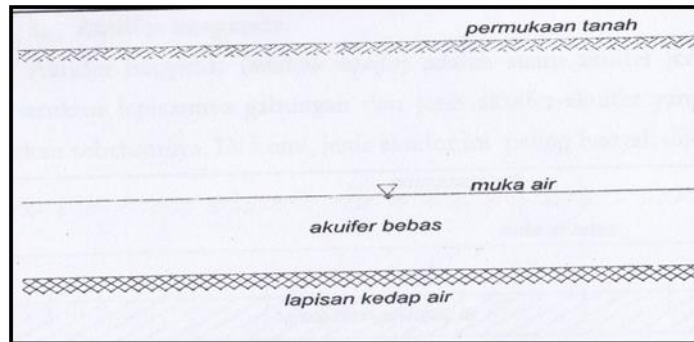
Lapisan batuan yang mampu menyimpan dan mengalirkan airtanah namun dalam jumlah yang terbatas. Contoh dari akuitar adalah pasir lempungan.

### 2.1.2 Jenis Akuifer

Menurut Bisri (2012) akuifer dibedakan ke dalam 5 jenis. Hal ini didasarkan pada susunan lapisan litologinya dan besarnya koefisien kelulusan air (K). Berikut penjelasan kelima jenis akuifer tersebut:

#### a. Akuifer bebas (*unconfined aquifer*)

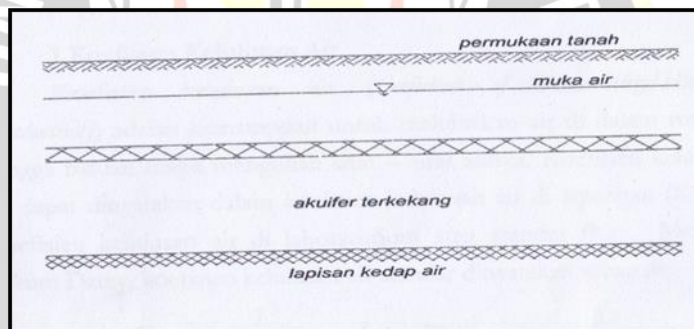
Akuifer bebas merupakan akuifer yang hanya memiliki lapisan kedap air pada bagian bawahnya. Muka airtanah merupakan bidang batas bagian atas dari daerah jenuh air. Penjelasan lebih detail ada pada Gambar 2.1 berikut ini:



**Gambar 2.1** Akuifer bebas (Bisri, 2012)

b. Akuifer tertekan (*confined aquifer*)

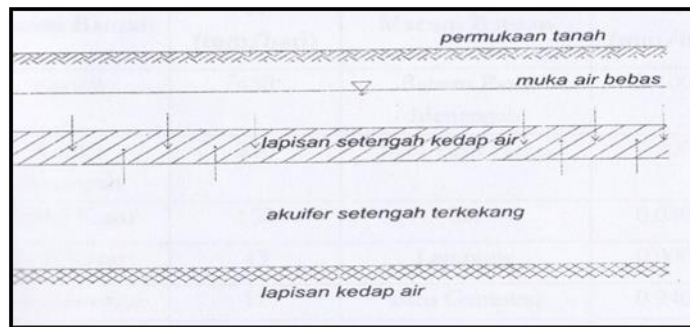
Akuifer tertekan merupakan akuifer yang memiliki pembatas berupa lapisan kedap air pada bagian atas maupun bagian bawahnya. Tekanan pada akuifer ini lebih besar daripada tekanan atmosfer. Penjelasan lebih detail ada pada Gambar 2.2 berikut ini:



**Gambar 2.2** Akuifer tertekan (Bisri, 2012)

c. Akuifer semi tertekan

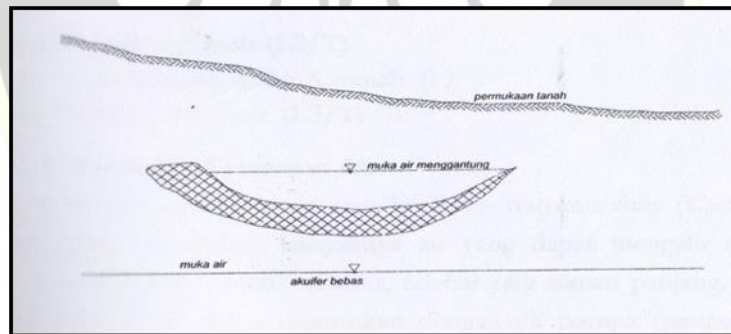
Akuifer semi tertekan merupakan akuifer yang dibatasi oleh lapisan kedap air pada bagian bawahnya dan lapisan semi kedap air pada lapisannya. Pada lapisan pembatas bagian atas dimungkinkan masih adanya air yang mengalir ke akuifer tersebut. Penjelasan lebih detail ada pada Gambar 2.3 berikut ini:



**Gambar 2.3** Akuifer semi tertekan (Bisri, 2012)

d. Akuifer menggantung

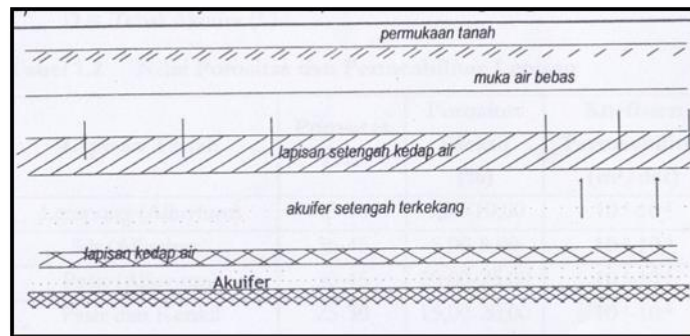
Akuifer menggantung merupakan akuifer yang massa airtanahnya terpisah dari airtanah induk. Dipisahkan oleh suatu lapisan yang relatif kedap air yang begitu luas dan terletak di atas daerah jenuh air. Biasanya akuifer ini terletak di atas suatu lapisan yang kedap air, namun beberapa berada di atas lapisan akuitar sehingga mampu memberikan distribusi airtanah pada akuifer dibawahnya. Penjelasan lebih detail ada pada Gambar 2.4 berikut ini:



**Gambar 2.4** Akuifer menggantung (Bisri, 2012)

e. Akuifer berganda

Akuifer berganda adalah suatu akuifer jenuh air yang struktur lapisannya gabungan dari jenis akuifer-akuifer yang telah dijelaskan sebelumnya. Di bumi, jenis akuifer ini paling banyak dijumpai. Penjelasan lebih detail ada pada Gambar 2.5 berikut ini:



**Gambar 2.5** Akuifer berganda (Bisri, 2012)

## 2.2 Kerentanan Airtanah

Penilaian untuk mencegah pencemaran airtanah adalah cara yang lebih efektif daripada melakukan perbaikan kualitas airtanah yang telah tercemar (Machdar dkk., 2017). Kerentanan adalah sifat-sifat intrinsik atau alamiah dari sistem airtanah yang bergantung pada kepekaan sistem tersebut terhadap dampak alamiah dan atau dampak manusia (Hendrayana, 2011). Kerentanan didefinisikan sebagai resiko pencemaran karena potensi dari dampak penggunaan lahan (Baghapour dkk., 2016)). Penilaian kerentanan airtanah bertujuan untuk menunjukkan bahwa perlindungan yang diberikan oleh lingkungan bervariasi di berbagai lokasi (Abdullahi, 2009). Kerentanan airtanah menurut Harter (2001) dalam Kusuma (2009) adalah ukuran sejauh mana airtanah mampu bertahan terhadap polusi atau kontaminan pada permukaan tanah hingga mencapai muka airtanah atau lapisan akuifer. Kerentanan airtanah terbagi menjadi 2 (Hatori, 2008), yaitu:

### a. Kerentanan airtanah intrinsik

Kerentanan airtanah karena dipengaruhi oleh keadaan alam, meliputi keadaan geologi (sifat dan jenis litologi, dan topografi) dan hidrogeologi (konduktivitas hidrolika, elevasi muka airtanah dan curah hujan). Menurut Vrba dan Zaporozec (1994), kerentanan intrinsik adalah penentuan kerentanan untuk mengetahui seberapa besar tingkat perlindungan airtanah oleh alam. Kerentanan intrinsik bergantung pada tiga faktor utama yaitu proses absorpsi dan waktu tempuh kontaminan cair; dinamika aliran kontaminan fluida di zona jenuh; dan konsentrasi sisa kontaminan saat mencapai zona jenuh (Maria, 2018).

b. Kerentanan airtanah spesifik

Kerentanan spesifik merupakan kerentanan airtanah terhadap kontaminan tertentu. Kerentanan airtanah spesifik merupakan potensi dari kontaminan yang dihasilkan oleh aktivitas manusia.

### 2.3 Pencemaran Airtanah

Airtanah dapat mengalami pencemaran saat air bercampur dengan bahan atau zat dalam konsentrasi tertentu akan berbahaya bagi makhluk hidup, khususnya manusia. Pencemaran airtanah sering terjadi di daerah dengan kepadatan penduduk yang tinggi, kawasan industri, dan daerah pertanian dimana banyak masyarakat memanfaatkan airtanah sebagai sumber air bersih. Menurut Saracino dan Phipps (2002), berbagai kontaminan atau pencemar dapat masuk ke lapisan airtanah (akuifer) karena beberapa hal, yaitu:

- a. Infiltrasi air dari permukaan melalui tanah, material sedimen, dan batuan.
- b. Aliran langsung dari air permukaan, terutama melalui daerah yang memiliki batuan terekahkan atau daerah kars.
- c. Aliran langsung melalui sumur air yang dibangun tidak sesuai dengan kriteria yang baik sehingga menjadi saluran bagi kontaminan.

Pencemaran airtanah mengakibatkan penurunan kualitas airtanah. Kualitas airtanah yang menurun akan menyebabkan beberapa penyakit bagi manusia. Sebagai contoh pencemaran airtanah oleh Nitrat merupakan masalah yang paling banyak didunia (Gu, dkk., 2013; Adimalla, 2019). Penggunaan pupuk anorganik, limbah industri dan rumah tangga, kebocoran *septictank*, serta lindi dari tempat pembuangan akhir/ sementara (TPA/TPS) merupakan potensi terjadinya kontaminasi Nitrat dalam airtanah (Wei, dkk., 2017; Adimalla, 2019). Konsumsi air dengan kandungan Nitrat tinggi dapat menyebabkan Globinemia (bayi biru) pada bayi, cacat lahir, gangguan saraf, penyakit lambung, hingga diabetes (Vasanthavigar, dkk., 2010; Varol dan Davraz, 2015). Kualitas airtanah juga sangat penting untuk bidang pertanian. Buruknya kualitas air akan menurunkan produktifitas lahan pertanian dan dapat menurunkan kualitas dan permeabilitas tanah.

## 2.4 Kerentanan Airtanah Terhadap Pencemaran

Metode kerentanan yang paling sering digunakan adalah metode *DRASTIC* index. *DRASTIC* Index diperkenalkan oleh United States Environmental Protection Agency (USEPA) untuk pertama kalinya (Babiker dkk., 2005; Sener dkk., 2009; Saatsaz dkk., 2011). *DRASTIC* Index dapat mengetahui kerentanan airtanah terhadap pencemaran secara umum dan bukan hanya berdasarkan salah satu zat pencemar saja. Metode ini cocok digunakan untuk area yang luas, bukan area sempit. *DRASTIC* mengutamakan faktor hidrogeologi yang mempengaruhi gerakan airtanah. Metode *DRASTIC* berdasarkan akronim memiliki 7 parameter yaitu: kedalaman muka airtanah (*Depth to groundwater*), jumlah pasokan airtanah (*Recharge*), litologi lapisan akuifer (*Aquifer lithology*), jenis media tanah (*Soil*), topografi (*Topography*), dampak terhadap zona tak jenuh air (*Impact to vadose zone*), dan konduktivitas hidrolika (*Hydraulic Conductivity*).

$$DRASTIC\ Index = D_R * D_W + R_R * R_W + A_R * A_W + S_R * S_W + T_R * T_W + I_R * I_W + C_R * C_W \quad [1]$$

Dimana: R – Rating  
W – Weight

Setiap parameter penilaian mempunyai rentang kelas atau rating, dan setiap parameter juga memiliki bobot berdasarkan pengaruhnya terhadap kontaminasi airtanah.

*Depth to Watertable* atau kedalaman muka airtanah tidak tertekan merupakan faktor penting dalam metode ini. Semakin dalam muka airtanah maka potensi airtanah untuk tercemar akan semakin kecil, begitu juga sebaliknya apabila semakin dangkal muka airtanah maka potensi airtanah untuk tercemar akan semakin besar. Rating dan bobot kedalaman muka airtanah terdapat pada Tabel 2.1.

Jumlah *recharge* menggambarkan jumlah air yang meresap kedalam tanah dan mencapai muka airtanah. Apabila jumlah *recharge* air semakin besar, maka potensi airtanah tercemar akan semakin besar, begitu juga sebaliknya bila jumlah *recharge* semakin sedikit, maka potensi airtanah akan semakin kecil.

**Tabel 2.1** Penilaian kedalaman muka airtanah metode *DRASTIC* (Aller dkk., 1985)

<b>Kedalaman Muka Airtanah [m]</b>		
<b>Rentang</b>	<b>Rating</b>	<b>Bobot</b>
0-1,5	10	5
1,5-3	9	5
3-9	7	5
9-15	5	5
15-22	3	5
22-30	2	5
>30	1	5

Untuk nilai *recharge* ini perlu diketahui nilai Evapotranspirasi, *Runoff* dan Presipitasi.

$$Recharge = (\text{Presipitasi} - \text{Total } Runoff) - \text{Evapotranspirasi} \quad [2]$$

Untuk menghitung nilai Evapotranspirasi/ $E_t$  menggunakan rumus Turc (1954) dalam Putranto (2013), sebagai berikut:

$$E_t = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{P^2}{(300 + 25 \cdot T + 0,05 \cdot T^3)^2}\right)}} \quad [\text{mm/tahun}] \quad [3]$$

Dimana :

P : Presipitasi [mm/tahun]

T : Temperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Dalam perhitungan *runoff* ( $R_o$ ) dilakukan dengan memperhatikan tata guna lahan menggunakan *runoff curve number* (CN) (Tabel 2.2) (United States Departemen of Agriculture, 1986).

$$R_o = \frac{(p - 0,25)^2}{(p + 0,85)} \quad [4]$$

Dimana :

$R_o$  : *Runoff* [mm/tahun]

P : Presipitasi [mm/tahun]

S : *Soil cover*/Tanah penutup



Untuk mendapatkan nilai tanah penutup (S) dengan membagi nilai dari penutup lahan dengan nomor kurva.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad [5]$$

Dimana :

S : *Soil cover*/Tanah penutup

CN : *Curve number*/nomer kurva

**Tabel 2.2** Nomor kurva untuk tataguna lahan di wilayah perkotaan (United States Departemen of Agriculture (USDA), 1986)

TATA GUNALAHAN	RATA-RATA AREA IMPERVIOUS	KONDISI HIDROLOGI	NOMOR KURVA UNTUK GROUP TANAH HIDROLOGI			
			A	B	C	D
<b>RUANG TERBUKA</b>						
BURUK			68	79	86	89
SEDANG			49	69	79	84
BAIK			39	61	74	80
<b>PEMUKIMAN DENGAN LUAS:</b>						
1/8 Ha	65		77	85	90	92
1/4 Ha	38		61	75	83	87
1/3 Ha	30		57	72	81	86
1/2 Ha	25		54	70	80	85
1 Ha	20		51	68	79	84
2 Ha	12		46	65	77	82
<b>Area Pertanian</b>						
		BAIK	65	76	84	88
		BURUK	63	75	83	78
<b>RUANG PERTANIAN LAINNYA.</b>						
PADANG RUMPUT			30	58	71	78
SEMAK BELUKAR		BAIK	48	67	77	83
		SEDANG	35	70	70	77
		BURUK	30	48	65	73
PERKEBUNAN		BAIK	57	73	82	86
BERKAYU		SEDANG	43	65	76	82
		BURUK	32	58	72	79

Parameter jumlah recharge dibagi kedalam kelas. Rating dan bobot dari parameter jumlah *recharge* terdapat pada Tabel 2.3.

**Tabel 2.3** Penilaian jumlah *recharge* metode *DRASTIC* (Aller dkk., 1985)

<b>Recharge [mm/tahun]</b>		
<b>Rentang</b>	<b>Rating</b>	<b>Bobot</b>
0-51	1	4
52-102	3	4
103-178	6	4
179-254	8	4
>254	9	4

Media akuifer mempengaruhi jumlah air yang terkontaminasi menembus lapisan akuifer. Jenis aliran dapat melalui retakan, porositas atau permeabilitas. Semakin besar kemampuan akuifer untuk menahan air terkontaminasi, maka waktu tempuh akan semakin lama sehingga potensi airtanah terkontaminasi akan semakin kecil. Rating dan bobot dari parameter media akuifer terdapat pada Tabel 2.4.

**Tabel 2.4** Penilaian media akuifer metode *DRASTIC* (Aller dkk., 1985)

<b>Media akuifer</b>		
<b>Jenis</b>	<b>Rating</b>	<b>Bobot</b>
<i>Shale masif</i>	2	3
Metamorf/beku	3	3
Lapukan metamorf/beku	4	3
Batupasir, batugamping, dan shale	6	3
Batupasir masif	6	3
Batugamping masif	6	3
Pasir dan kerikil	8	3
Basalt	9	3
Batugamping karst	10	3

Jenis tanah mempengaruhi jumlah air terkontaminasi yang masuk ke dalam tanah hingga mencapai muka airtanah. Jenis tanah dengan ukuran butir kecil seperti lanau dan lempung memiliki permeabilitas kecil sehingga membatasi pergerakan kontaminan. Ketebalan tanah juga mempengaruhi waktu tempuh kontaminasi. Semakin tebal maka waktu tempuh juga akan semakin lama. Rating dan bobot dari parameter media tanah terdapat pada Tabel 2.5.

**Tabel 2.5** Penilaian jenis tanah metode *DRASTIC* (Aller dkk., 1985)

<b>Jenis tanah</b>		
<b>Jenis</b>	<b>Rating</b>	<b>Bobot</b>
Kerikil	10	2
Pasir	9	2
Agregat lempung	7	2
Lempung pasiran	6	2
Lempung	5	2
Lempung lanauan	3	2
Lempung non agregat	1	2

Topografi/kelerengan menentukan apakah kontaminan mengalir atau tertahan dipermukaan. Semakin curam kelerengan maka jumlah *runoff* akan semakin besar, sehingga air terkontaminasi yang meresap ke dalam tanah dan mencapai muka airtanah akan berkurang. Sebaliknya jika kelerengan landai akan menyebabkan air terkontaminasi tertahan dipermukaan sehingga akan lebih berpotensi untuk meresap dan mencemari airtanah. Rating dan bobot dari parameter topografi terdapat pada Tabel 2.6.

**Tabel 2.6** Penilaian slope metode *DRASTIC* (Aller dkk., 1985)

<b>Slope/persen lereng [%]</b>		
<b>Rentang</b>	<b>Rating</b>	<b>Bobot</b>
0-2	10	1
2-6	9	1
6-12	5	1
12-18	3	1
>18	1	1

Zona tidak jenuh air merupakan material atau batuan di bawah muka airtanah. Material tersebut mengontrol arah maupun panjang lintasan yang mengakibatkan waktu dan jumlah air terkontaminasi mencemari airtanah di lapisan akuifer. Material atau batuan dari zona tak jenuh mempengaruhi arah lintasan yang tergantung pada banyaknya retakan dan permeabilitas material/batuan. Rating dan bobot dari parameter jenis zona tidak jenuh air terdapat pada Tabel 2.7.

**Tabel 2.7** Penilaian *vadose zone* metode *DRASTIC* (Aller dkk., 1985)

<b>Media vadose zone</b>		
<b>Media</b>	<b>Rating</b>	<b>Skor</b>
Lempung lanauan	1	5
<i>Shale</i>	3	5
Metamorf/beku	4	5
Batugamping	6	5
Batupasir	6	5
Per lapisan batugamping, batupasir, dan <i>shale</i>	6	5
Pasir dan kerikil dengan kandungan lanau dan lempung	6	5
Pasir dan kerikil	8	5
Basalt	9	5
Batugamping karst	10	5

Konduktivitas hidrolika akuifer adalah kemampuan dari batuan akuifer untuk mengalirkan dan mengontrol kecepatan rata-rata aliran airtanah yang dipengaruhi gradient hidrolika. Kecepatan aliran mempengaruhi kecepatan air terkontaminasi yang masuk ke dalam akuifer. Semakin besar konduktivitas hidrolika batuan, maka potensi airtanah tercemar akan semakin besar. Sebaliknya, apabila nilai konduktivitas kecil, maka potensi airtanah tercemar juga semakin kecil. Rating dan bobot dari parameter konduktivitas hidrolika batuan terdapat pada Tabel 2.8.

**Tabel 2.8** Penilaian konduktivitas hidrolika metode *DRASTIC* (Aller dkk., 1985)

<b>Konduktivitas hidrolika [m/hari]</b>		
<b>Rentang</b>	<b>Rating</b>	<b>Bobot</b>
0-0,86	1	3
0,86-2,59	2	3
2,59-6,05	4	3
6,05-8,64	6	3
8,64-17,18	8	3
>17,18	10	3

Dari hasil pembobotan dan perhitungan pada parameter-parameter *DRASTIC* menghasilkan nilai *DRASTIC* Indeks (DI). Nilai DI dibagi menjadi 5 tingkat kerentanan, yaitu kerentanan sangat rendah, kerentanan rendah, kerentanan sedang, kerentanan tinggi dan kerentanan sangat tinggi (Tabel 2.9)

**Tabel 2.9** Penilaian tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemaran metode *DRASTIC* (Aller dkk., 1985)

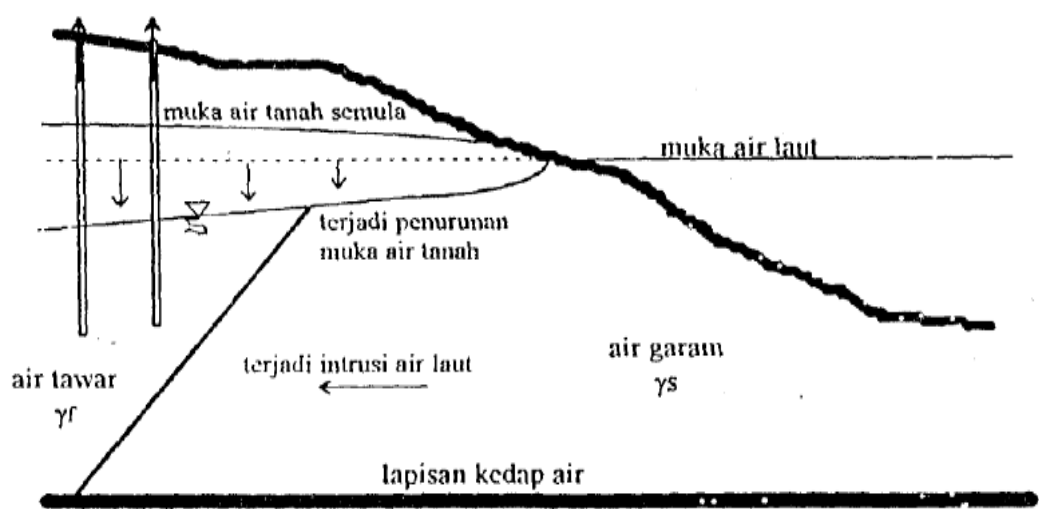
Nilai DI	Tingkat Kerentanan
<66	Sangat Rendah
66-106	Rendah
106-146	Sedang
146-186	Tinggi
>186	Sangat Tinggi

## 2.5 Penyusupan Air Asin (Intrusi Air Asin)

Fenomena intrusi air asin merupakan salah satu penyebab pencemaran airtanah terutama di kawasan pesisir. Intrusi atau penyusupan air asin adalah proses masuknya air asin ke dalam lapisan akuifer di daratan. Terminologi intrusi pada dasarnya hanya digunakan setelah ada aksi, yaitu pengambilan airtanah yang berlebihan sehingga mengganggu keseimbangan hidrostatik (Hendrayana, 2002).

Terdapat banyak faktor yang mempengaruhi terjadinya intrusi air asin seperti resapan, topografi pantai (Oude Essink dkk., 2010; Ferguson & Gleeson, 2012), pengambilan airtanah (eksploitasi) yang berlebihan (Sreekant & Datta, 2010) dan kenaikan permukaan laut (White dkk., 2005; Sandford & Pope, 2010). Ketidakseimbangan gradient hidrolik karena pemompaan airtanah yang berlebih menjadi faktor penting terjadinya intrusi air asin (Lee dkk., 2016; Zhu dkk., 2020). Faktor utama yang memperburuk masalah intrusi adalah kondisi alam dengan perubahan iklim dan faktor antropogenik akibat urbanisasi pesisir (Hussain dkk., 2019). Perubahan global seperti perubahan iklim dan peningkatan ekanan antropogenik yang besar di wilayah pesisir akan memberikan efek negatif pada sumber daya airtanah di wilayah pesisir (Polemio, dkk., 2019).

Pada dasarnya lapisan pembawa air mempunyai gradient hidrolika kearah laut sehingga terjadi aliran airtanah dari darat ke laut secara kontinu, Sedangkan dari laut terjadi tekanan air laut ke darat. Pertemuan airtanah dan air laut membentuk bidang kontak disebut dengan *interface* yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. airtanah memiliki densitas lebih kecil daripada air laut, sehingga pada *interface* airtanah selalu berada diatas air laut (Bear, 1979).



Gambar 2.6. Kondisi intrusi air laut (Todd, 1974)

## 2.6 Kerentanan Airtanah Terhadap Intrusi Air Asin

Kerentanan airtanah terhadap intrusi air asin merupakan penilaian suatu daerah yang rentan mengalami intrusi daripada daerah lain. Metode yang digunakan adalah metode *GALDIT* (Chachadi & Ferreira, 2005). *GALDIT* mempertimbangkan kondisi hidrogeologi dan morfologi lokasi penelitian. Metode *GALDIT* merupakan satu-satunya metode yang mempertimbangkan faktor penyebab intrusi seperti jarak dari garis pantai dan dampak intrusi menggunakan hidrokimia airtanah. Metode ini menggunakan konsep penilaian dan pembobotan pada tiap parameternya.

Metode *GALDIT* berdasarkan akronim memiliki 6 parameter yaitu: ketersediaan airtanah (*Groundwater occurrence aquifer type*), konduktivitas hidrolika akuifer (*Aquifer hydraulic conductivity*), elevasi muka airtanah (*Level above mean sea level*), jarak dari pantai (*Distance from coast*), pengaruh intrusi (*Impact of existing intrusion*), dan ketebalan akuifer (*aquifer Thickness*).

$$GALDIT \text{ Index} = \frac{\sum_{i=1}^6 W_i R_i}{\sum_{i=1}^6 W_i} \quad [6]$$

Dimana: R – Rating  
W – Weight

Keterdapatan airtanah terdapat pada lapisan batuan yang mampu menyimpan dan mengalirkan airtanah. Asal mula airtanah tergantung dari jenis akuifer. Rating dan bobot parameter keterdapatan airtanah terdapat pada Tabel 2.10.

**Tabel 2.10** Penilaian keterdapatan airtanah metode *GALDIT* (Chachadi & Ferreira, 2005)

<b>Keterdapatan Airtanah</b>		
<b>Jenis</b>	<b>Rating</b>	<b>Bobot</b>
Akuifer Tertekan	10	1
Akuifer Tidak tertekan	7,5	1
Akuifer Semi Tertekan	5	1
Akuifer Melensa	2,5	1

Konduktivitas hidrolika akuifer adalah kemampuan akuifer untuk mengalirkan airtanah. Nilai konduktivitas hidrolika tergantung pada jenis material akuifer. Rating dan bobot parameter konduktivitas hidrolika terdapat pada Tabel 2.11.

**Tabel 2.11** Penilaian konduktivitas hidrolika metode *GALDIT* (Chachadi & Ferreira, 2005)

<b>Konduktivitas Hidrolika (m/hari)</b>		
<b>Rentang</b>	<b>Rating</b>	<b>Bobot</b>
>40	10	3
10-40	7,5	3
5-10	5	3
<5	2,5	3

Kedalaman muka airtanah diatas permukaan air laut diperoleh dari selisih antara ketinggian permukaan dan ketinggian permukaan airtanah. Semakin tinggi permukaan airtanah dari permukaan air laut, maka potensi terjadinya intrusi air asin semakin kecil. Sebaliknya, semakin rendah permukaan airtanah dari permukaan air laut, maka potensi terjadinya intrusi air asin semakin besar. Rating dan bobot parameter kedalaman muka airtanah diatas permukaan air laut terdapat pada Tabel 2.12.

**Tabel 2.12** Penilaian elevasi muka airtanah metode *GALDIT* (Chachadi & Ferreira, 2005)

<b>Elevasi Muka Airtanah (mdpl)</b>		
<b>Rentang</b>	<b>Rating</b>	<b>Bobot</b>
<1,0	10	4
1,0-1,5	7,5	4
1,5-2,0	5	4
>2,0	2,5	4

Jarak dari garis pantai ditentukan dari jarak tegak lurus terhadap garis pantai. Semakin dekat dengan garis pantai, maka potensi mengalami intrusi air asin semakin besar. Sebaliknya, jika jarak dengan garis pantai semakin jauh, maka potensi mengalami intrusi air asin semakin kecil. Rating dan bobot dari parameter jarak dari garis pantai terdapat pada Tabel 2.13.

**Tabel 2.13** Penilaian jarak dari garis pantai metode *GALDIT* (Chachadi & Ferreira, 2005)

<b>Jarak dari Garis Pantai (m)</b>		
<b>Rentang</b>	<b>Rating</b>	<b>Bobot</b>
<500	10	4
500-750	7,5	4
750-1.000	5	4
>1.000	2,5	4

Pengaruh intrusi air asin dinyatakan dengan menggunakan hidrokimia airtanah yang dapat dipakai sebagai indikator adanya intrusi air asin pada airtanah. Perbandingan rasio klorida dan bikarbonat  $Cl^-/[HCO_3^- + CO_3^{2-}]$  digunakan sebagai kriteria ini. Rating dan bobot parameter ketebalan akuifer terdapat pada Tabel 2.14.

**Tabel 2.14** Penilaian pengaruh intrusi air asin dengan rasio  $Cl^-/[HCO_3^- + CO_3^{2-}]$  metode *GALDIT* (Chachadi & Ferreira, 2005)

<b>Pengaruh Intrusi Air Asin <math>Cl^-/[HCO_3^- + CO_3^{2-}]</math> (epm)</b>		
<b>Rentang</b>	<b>Rating</b>	<b>Bobot</b>
>2,0	10	1
1,5-2,0	7,5	1
1,0-1,5	5	1
<1,0	2,5	1

Ketebalan akuifer atau ketebalan zona jenuh airtanah pada titik sumur pengamatan yang berada di daerah kajian. Semakin tebal suatu akuifer, maka potensi mengalami intrusi air asin sangat tinggi. Sebaliknya jika ketebalan suatu akuifer rendah, maka potensi mengalami intrusi air asin semakin rendah. Rating dan bobot parameter ketebalan akuifer terdapat pada Tabel 2.15.

**Tabel 2.15** Penilaian ketebalan akuifer metode *GALDIT* (Chachadi & Ferreira, 2005)

<b>Ketebalan Akuifer (m)</b>		
<b>Rentang</b>	<b>Rating</b>	<b>Bobot</b>
>10	10	2
7,5-10	7,5	2
5-7,5	5	2
<5	2,5	2



Dari hasil perhitungan dan pembobotan dari parameter-parameter kerentanan terhadap intrusi air asin metode *GALDIT* (Chachadi & Ferreira, 2005) menghasilkan *GALDIT* Indeks (GI). Nilai GI dibagi menjadi 3 tingkat kerentanan, yaitu kerentanan rendah, kerentanan sedang, dan kerentanan tinggi (Tabel 2.16)

**Tabel 2.16** Penilaian tingkat kerentanan airtanah terhadap intrusi air asin metode *GALDIT* (Chachadi & Ferreira, 2005)

Nilai GI	Tingkat Kerentanan
<5	Rendah
5-7,5	Sedang
>7,5	Tinggi

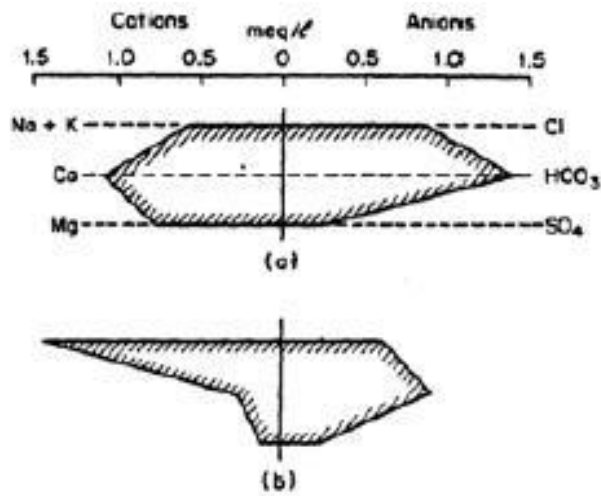
## 2.7 Kualitas Airtanah

### 2.7.1 Geokimia Airtanah

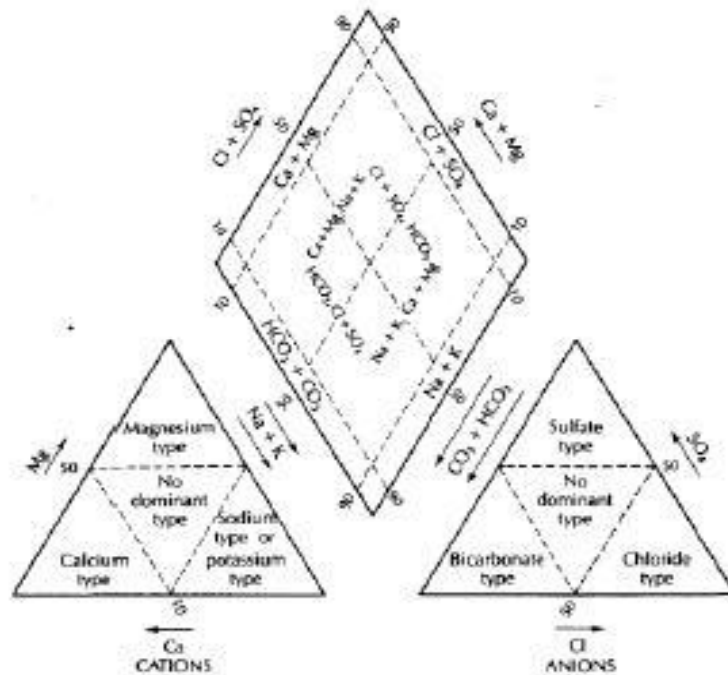
Dalam interpretasi geologi kualitas airtanah, dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu menggunakan tabel kurlov, diagram stiff atau diagram piper. Tabel kurlov merupakan metode penentuan klas air berdasarkan jumlah anion dan kation yang mempunyai jumlah >25%. Jumlah anion dan kation pada tabel kurlov didasarkan pada persentase konsentrasi dalam meq/L.

Metode lain dalam interpolasi geologi kualitas airtanah adalah dengan menggunakan diagram stiff (Gambar 2.7). Diagram stiff bertujuan untuk menghubungkan atau mengkorelasikan kualitas airtanah secara vertikal pada satu lubang bor atau secara mendatar pada lapisan akuifer yang sama. Diagram stiff dibuat berdasarkan nilai konsentrasi meq/L yang kemudian dihubungkan setiap titiknya sehingga menggambarkan pola tertentu sesuai dengan komposisi anion dan kationnya.

Metode lain adalah metode diagram Piper (Gambar 2.8). Diagram piper ini sangat penting dalam analisis genetik airtanah, efektif dalam pemisahan analisis data bagi studi kritis terutama mengenai sumber unsur penyusun terlarut dalam airtanah, perubahan sifat air yang melewati batuan tertentu serta hubungan dengan problem-problem kimia. Pengeplotan nilai dari tiap unsur pada diagram piper didasarkan pada nilai konsentrasi dalam meq/L.



**Gambar 2.7** Diagram Stiff yang menunjukkan analisis kimia airtanah (Davis & De Wiest, 1966).



**Gambar 2.8** Diagram Piper untuk klasifikasi tipe airtanah (Fetter, 2001).

Diagram piper menggambarkan fasies airtanah. Fasies airtanah dibagi menjadi 7 berdasarkan komposisi unsur utamanya, yaitu alkali tanah dan alkali. Pembagian fasies airtanah menurut Piper (1944), sebagai berikut:

a. Fasies alkali tanah

Fasies alkali tanah menunjukkan keberadaan airtanah yang masih berada di daerah *recharge* dimana masih dipengaruhi aktivitas vulkanisme. Hal ini terlihat dari kandungan senyawa dalam fasies ini berupa magnesium, sulfat dan air bikarbonat. Fasies ini dibagi lagi menjadi 3, yaitu:

- Fasies alkali tanah dengan kandungan dominan hidrogen karbonat

Tipe ini menunjukkan fasies airtanah yang kaya akan hidrogen karbonat atau sering dijumpai dalam bentuk air bikarbonat. Air alkali tanah yang kaya hidrogen karbonat berasal dari air hujan yang melewati batuan beku yang kaya magnesium namun sangat sedikit sulfat.

- Fasies alkali tanah dengan kandungan hidrogen karbonat dan sulfat

Tipe ini menunjukkan fasies airtanah yang berada diantara sistem *out flow* dan *up flow* dari sistem geothermal. Airnya berasal dari air hujan dan air sulfat dari proses geothermal yang melewati batuan yang kaya magnesium.

- Fasies alkali tanah dengan kandungan dominan sulfat

Airtanah yang memiliki kandungan sulfat yang tinggi menunjukkan airtanahnya berasal dari air hidrothermal yang kaya akan sulfat. Air sulfat ini berasal dari proses geothermal yang menunjukkan suatu gunung masih aktif. Air sulfat ini melewati batuan gunung api yang memiliki kandungan magnesium.

b. Fasies campuran dengan alkali lebih dominan

Fasies campuran menunjukkan keberadaan airtanah yang mulai turun dari daerah vulkanik ke daerah hilir, namun masih terpengaruh oleh air yang berasal dari daerah vulkanik (*recharge area*). Hal ini terlihat dari kandungan senyawa dalam fasies ini berupa campuran antara magnesium, kalsium, natrium, kalium, hidrogen karbonat, sulfat dan klorida. Semua unsur kimia bercampur dalam fasies ini. Fasies ini dibagi lagi menjadi 2, yaitu:

- Fasies campuran dengan dominan hidrogenkarbonat

Keberadaan hidrogen karbonat menunjukkan asal airtanah fasies ini adalah air hujan dengan kandungan kation campuran antara magnesium, kalsium, namun dominan natrium dan kalium. Maka dari itu disebut fasies campuran dengan kandungan alkali lebih tinggi dari alkali tanah. Natrium dan kalium menunjukkan bahwa airtanah telah melewati batuan dengan komposisi mineral lempung.

- Fasies campuran dengan dominan sulfat atau klorida

Fasies campuran dengan dominan sulfat muncul ketika asal airtanah adalah air sulfat yang berasal dari aktivitas geothermal, sedangkan fasies campuran dengan dominan klorida muncul ketika kandungan garam natrium klorida dalam konsentrasi banyak dimana menunjukkan asal airnya adalah air laut.

c. Fasies alkali

Fasies alkali menunjukkan keberadaan airtanah yang sudah mencapai daerah hilir. Hal ini terlihat dari kandungan senyawa dalam fasies ini yang didominasi oleh kation alkali. Fasies ini dibagi lagi menjadi 2, yaitu:

- Fasies alkali dominan (hidrogen) karbonat

Pada tipe ini, hidrogen jarang muncul sebagai unsur yang dominan, melainkan senyawa-senyawa karbonat yang lebih dominan. Hal ini terjadi karena daerah hilir banyak mengandung sedimen karbonat baik yang sudah terkonsolidasi atau belum. Fasies ini berasal dari air hujan atau air meteorik yang masuk ke dalam batuan yang kaya mineral lempung sehingga kationnya didominasi oleh unsur natrium dan kalium.

- Fasies alkali dominan sulfat-klorida/klorida

Pada fasies tipe ini menunjukkan airtanah berasal dari air sulfat (aktivitas vulkanisme) ataupun air yang kaya garam klorida (air laut). Air tersebut tersimpan dalam batuan yang kaya mineral lempung, sehingga kandungan kation berupa natrium dan kalium cukup dominan.

### 2.7.2 Kualitas Airtanah untuk Air Minum

Standar yang digunakan di Indonesia berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan (Permenkes). Selain itu untuk penggunaan standarisasi dalam skala internasional sering juga menggunakan standar dari *World Health Organization* (WHO). Tabel 2.17 menunjukkan standar kualitas air minum berdasarkan Permenkes No.492/MENKES/PER/IV/2010 dan WHO 2017.

**Tabel 2.17** Standar kualitas air minum berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan No.492/MENKES/PER/IV/2010 dan WHO 2017.

Parameter	Maksimum Diperbolehkan		Satuan
	Permenkes No.492/MENKES/PER/ IV/2010	WHO 2017	
<b>Fisika</b>			
1. Warna	15	15	Skala TCU
2. Rasa	Tidak Berasa	Tidak Berasa	-
3. Bau	Tidak Berbau	Tidak Berbau	-
4. Daya Hantar Listrik	-	1.000	$\mu$ S/cm
5. Kekeruhan	5	5	Skala NTU
6. Zat Padat Terlarut	500	1.000	mg/L
<b>Kimia</b>			
1. Derajat Keasaman (pH)	6,5-8,5	6,5-8,5	Unit pH
2. Bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )	-	120	mg/L
3. Kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	-	75	mg/L
4. Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	250	250	mg/L
5. Klorida ( $\text{Cl}^-$ )	250	250	mg/L
6. Amonium ( $\text{NH}_4^+$ )	1,5	1,5	mg/L
7. Natrium ( $\text{Na}^+$ )	-	200	mg/L
8. Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	50	50	mg/L
9. Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	-	50	mg/L
10. Mangan ( $\text{Mn}^{2+}$ )	0,4	0,4	mg/L
11. Kalium ( $\text{K}^+$ )	-	12	mg/L
12. Besi ( $\text{Fe}^{3+}$ )	0,3	0,3	mg/L
13. Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ )	3	3	mg/L
14. Kesadahan	500	500	mg/L

Dalam melakukan evaluasi airtanah untuk konsumsi air minum umumnya dilakukan pembobotan kualitas airtanah berdasarkan *Water Quality Index* (WQI). Masing-masing parameter ditentukan bobotnya sesuai dengan

pengaruhnya terhadap kesehatan. Nilai bobot relatif ( $W_i$ ) didapatkan dari Persamaan 7.

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad [7]$$

Dimana  $W_i$  merupakan bobot relatif,  $w_i$  merupakan bobot yang diberikan pada masing-masing parameter, dan  $n$  merupakan jumlah parameter. Selanjutnya adalah melakukan perhitungan *quality rating scale* ( $q_i$ ) untuk masing-masing parameter. Nilai  $q_i$  didapatkan dari perbandingan nilai parameter ( $C_i$ ) terhadap nilai standar yang ditetapkan ( $S_i$ ) dikalikan 100, sehingga nilai  $q_i$  diperoleh dari Persamaan 8.

$$q_i = \frac{C_i}{S_i} \times 100 \quad [8]$$

Untuk menghitung nilai WQI, terlebih dahulu dicari nilai *subindex* ( $SI$ ) dari masing-masing parameter yang digunakan menggunakan Persamaan 9.

$$SI = W_i \times q_i \quad [9]$$

Untuk menghitung nilai WQI digunakan Persamaan 10.

$$WQI = \sum SI \quad [10]$$

Klasifikasi kualitas airtanah untuk air minum dengan menggunakan WQI terbagi menjadi 5 kelas (Tabel 2.18)

**Tabel 2.18** Klasifikasi kualitas airtanah untuk air minum berdasarkan nilai WQI (Sahu dan Sikdar, 2008)

Rentang Nilai	Kualits Air
<50	Sangat Baik
50-100	Baik
100-200	Buruk
200-300	Sangat Buruk
>300	Tidak Layak

### 2.7.3 Kualitas Airtanah untuk Irigasi

Untuk kepentingan irigasi masih diperlukan beberapa parameter lagi diantaranya adalah *Sodium Absorption Ratio* (SAR) dan Presentase Sodium (Na%), dan *Residual Sodium Carbonate* (RSC). Menurut Richard (1954) nilai SAR dapat diperoleh menggunakan Persamaan 11. Kualitas airtanah berdasarkan nilai SAR dapat dilihat pada Tabel 2.19 sebagai berikut:

$$SAR = Na / \{\sqrt{(Ca + Mg)/2}\} \quad [11]$$

**Tabel 2.19** Kualitas airtanah untuk irigasi berdasarkan nilai SAR dalam meq/L (Richard, 1954)

Klasifikasi	Kualitas Air	Nilai
SAR	Sangat Baik	0-10
	Baik	10-18
	Cukup	18-26
	Buruk	>26

Penilaian kualitas air untuk keperluan air irigasi juga dapat menggunakan presentasi Sodium (Na%). Presentase Sodium dalam kandungan airtanah dibandingkan dengan seluruh jumlah kation utama. Perhitungan persentasi Sodium dapat diperoleh dengan persamaan 12 dan klasifikasi kualitas airtanah untuk irigasi dapat dilihat pada Tabel 2.20.

$$Na\% = \frac{(Na^+ + K^+) \times 100}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+} \quad [12]$$

**Tabel 2.20** Klasifikasi kualitas airtanah untuk air irigasi berdasarkan nilai Na% (meq/L) (Wilcox, 1955)

Rentang Nilai	Kualits Air
<20	Sangat baik
20-40	Baik
40-60	Dibolehkan
60-80	Meragukan
>80	Tidak Cocok

Metode lain untuk mengetahui kelayakan air yang diperuntukkan sebagai air irigasi adalah dengan menghitung indeks RSC (*Residual Sodium Carbonate*). Ketika konsentrasi sodium terlarut dalam tanah tinggi, kapasitas

infiltrasi dalam tanah akan berkurang/terganggu. RSC menunjukkan bahaya alkalinitas untuk tanah dan digunakan untuk mengetahui kesesuaian air untuk keperluan irigasi pada tanah yang memiliki kapasitas pertukaran ion yang tinggi. Nilai RSC dapat diperoleh dengan persamaan 13 (Wu dan Sun., 2016). Klasifikasi kualitas airtanah untuk keperluan irigasi berdasarkan nilai RSC tersaji pada Tabel 2.21.

$$RSC = (HCO_3^- + CO_3^{2-}) - (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \quad [13]$$

**Tabel 2.21** Klasifikasi kualitas airtanah untuk keperluan air irigasi berdasarkan RSC (meq/L) (Raghunath, 1987)

Rentang Nilai	Kualitas Air
<1,25	Baik
1,25-2,5	Meragukan
>2,5	Tidak Cocok

## 2.8 Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem informasi geografis (SIG) adalah sebuah komputer yang berbasis sistem informasi digunakan untuk memberikan informasi bentuk digital dan analisa terhadap permukaan geografi bumi (Awangga, 2019). Menurut Prahasta (2002), SIG adalah sistem komputer yang digunakan untuk mengumpulkan, memeriksa, mengintegrasikan, dan menganalisa informasi-informasi yang berhubungan dengan permukaan bumi. Informasi geografi yang dipaparkan mengacu pada informasi mengenai tempat-tempat yang terletak di permukaan bumi, pengetahuan terkait letak suatu objek dan informasi berupa keterangan (atribut) dari objek yang ada di permukaan bumi yang kedudukannya sudah diketahui.

SIG memudahkan dalam melihat fenomena kebumihahan dengan perspektif yang lebih baik. SIG mampu mengakomodasi penyimpanan, pemrosesan dan penayangan data spasial digital bahkan integrasi data yang beragam, mulai dari citra satelit, foto udara, peta bahkan data statistik.

Model data dalam sistem SIG terdapat 2 jenis, yaitu:

- Data spasial: data spasial merupakan data yang menyimpan kenampakan-kenampakan permukaan bumi seperti jalan, sungai, dan lain-lain. Data



spasial terbagi menjadi 2, yaitu data vector dan data raster. Data vector diwakili dengan bentuk tertentu yang disebut dengan *feature* yang dapat berupa titik (*point*), garis (*line*), atau area (*polygon*). Sedangkan data raster mengacu pada data sederhana yang diinformasikan melalui *grid* yang terdiri dari *pixel*.

- b. Data non spasial/data atribut: data non spasial/data atribut adalah data yang menyimpan atribut dari kenampakan-kenampakan permukaan bumi.



**SEKOLAH PASCASARJANA**