

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Tanah

Air di bawah permukaan tanah, baik dari zona tak jenuh (*unsaturated*) dan jenuh (*saturated*), disebut sebagai air tanah. Jumlah air tanah diperkirakan lebih dari 100 kali lipat yang tersedia dari sungai dan danau (Shiklomanov, 1993). Air tanah dapat ditemukan hampir di semua tempat di bumi (Hess, 2014).

Air tanah dan air permukaan merupakan sumber air yang mempunyai ketergantungan satu sama lain. Banyak sungai di permukaan tanah yang sebagian besar alirannya berasal dari air tanah, sebaliknya aliran air tanah merupakan sumber utama untuk imbuhan air tanah. Pembentukannya mengikuti siklus peredaran air di alam, yang mengalami perpindahan tempat secara berurutan dan terus menerus (Kodoatie, 2012).

2.1.1 Pengertian Air Tanah

Pengertian air tanah (*groundwater*) menurut peraturan dan ahli:

1. Air tanah adalah sejumlah air bawah permukaan bumi yang dapat dikumpulkan dengan sumur-sumur, terowongan atau sistem drainase atau dengan pemompaan. Dapat juga disebut aliran yang secara alami mengalir ke permukaan tanah melalui pancaran atau rembesan (Bouwer, 1978; Freeze & Cherry, 1979; Kodoatie, 1996).
2. Air tanah adalah air yang menempati rongga-rongga dalam lapisan geologi. Lapisan tanah yang terletak di bawah permukaan tanah dinamakan daerah jenuh (*saturated zone*) (Soemarto, 1986).
3. Air yang tersimpan pada zona jenuh disebut dengan air tanah, yang kemudian bergerak sebagai aliran air tanah melalui batuan dan lapisan-lapisan tanah yang ada di bumi sampai air tersebut keluar sebagai mata air, atau rembesan masuk ke kolam, danau sungai dan laut (Fetter, 2001).
4. Air tanah (*Groundwater*) merupakan air bawah muka air tanah dan berada pada zona jenuh air, dapat didefinisikan sebagai air yang masuk

secara bebas ke dalam sumur, baik dalam keadaan bebas (*unconfined*) maupun tertekan (*confined*)(Davis dan De Wiest, 1966)

5. Aliran air tanah didefinisikan sebagai bagian dari aliran sungai yang sudah meresap (infiltrasi) ke dalam tanah (ground) dan sudah masuk dalam zona jenuh air atau *phreatic zone* dan sudah dialirkan (*discharged*) ke dalam sungai (*stream channel*) melalui pancaran air (*springs*) atau rembesan air (*seepage water*). Dalam ilmu hidrologi aliran tersebut diekspresikan dan dianalisis dengan persamaan aliran air tanah (Chorley, 1978).

2.1.2 Jenis-Jenis Lapisan Pembawa Air tanah

Lapisan pembawa air dikelompokkan sesuai kemampuan masing-masing lapisan dalam membawa air. Lapisan ini berkaitan dengan aliran air yang dapat dipompa oleh sumur. Menurut Todd (1985), lapisan pembawa air terbagi menjadi:

1. Akuifer

Formasi geologi yang tersusun oleh material bersifat permeable atau dapat ditembus air, sehingga dapat menyimpan dan mengalirkan air dalam jumlah besar pada sumur dan mata air. Contohnya batupasir.

2. Akuiklud

Lapisan yang tersusun dari material kedap air (*impermeable*), sehingga tidak memungkinkan air melewatinya. Contoh batumannya adalah batulempung.

3. Akuifug

Lapisan yang tersusun oleh formasi kedap air, kompak dan bersifat tidak dapat mengalirkan air. Contoh batumannya adalah granit.

4. Akuitar

Lapisan yang dapat menyimpan air, tetapi memiliki permeabilitas rendah, sehingga dapat mengalirkan air dalam jumlah sedikit. Contohnya adalah batulempung pasiran.

2.1.3 Jenis-Jenis Akuifer

Jenis-jenis akuifer menurut Kodoatie (1996) adalah sebagai berikut:

1. Akuifer Tidak Tertekan/ Bebas (*Unconfined aquifer*)

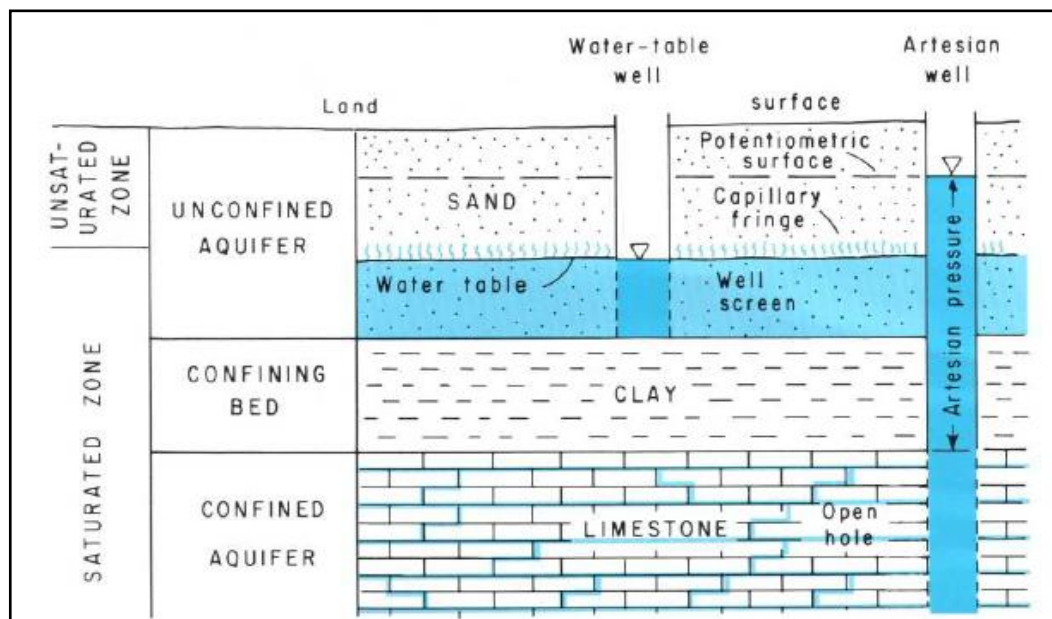
Merupakan akuifer jenuh air, yang dibatasi oleh lapisan akuitar pada bagian bawah, sedangkan pada bagian atas dibatasi oleh muka air tanah.

2. Akuifer tertekan (*Confined aquifer*)

Merupakan akuifer jenuh air, yang dibatasi oleh lapisan akuiklud pada bagian atas dan bawah akuifer dan memiliki tekanan air yang lebih besar dari tekanan atmosfer.

3. Akuifer semi tertekan

Merupakan akuifer yang dibatasi oleh lapisan atas berupa akuitar dan lapisan bawahnya berupa akuiklud. Pada lapisan pembatas di bagian atas karena bersifat aquitar masih ada aliran yang mengalir ke akuifer tersebut (*influx*) walaupun hidrolis konduktivitasnya lebih kecil dibandingkan hidrolis konduktivitas akuifer.



Gambar 2.1. Unconfined aquifer dan confined aquifer (Heath, 1983).

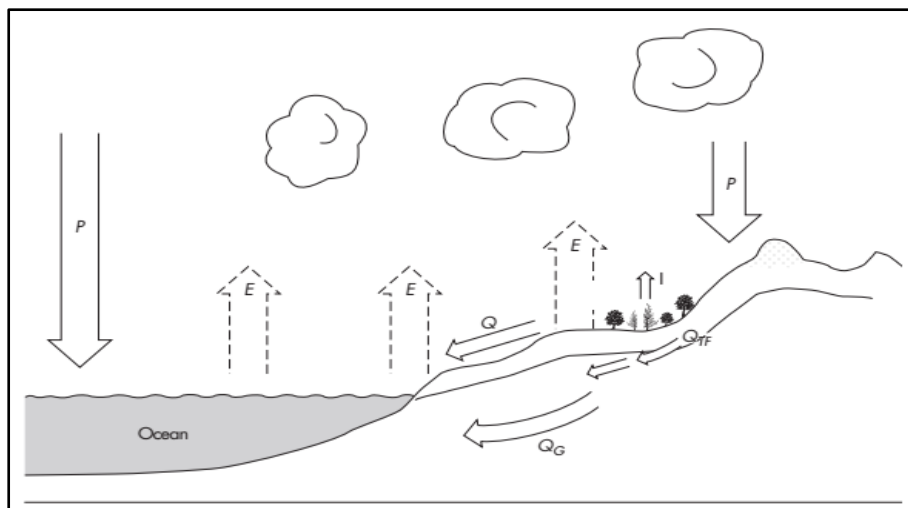
2.2 Siklus Hidrologi

Air tanah (*groundwater*) merupakan salah satu komponen dalam daur hidrologi (siklus hidrologi) yang terbentuk dari air hujan yang meresap ke dalam tanah melalui media lapisan yang berupa media pori dan media retakan di daerah imbuhan (*recharge area*) yang kemudian tersimpan dalam suatu lapisan batuan yang sering disebut sebagai akuifer dalam satu cekungan air tanah (CAT) yang

berada di bawah permukaan tanah menuju ke suatu daerah lepasan (*discharge area*) (Kodoatie, 2012).

Siklus hidrologi merupakan perjalanan air secara terus menerus, kontinyu, seimbang di darat baik di atas muka tanah dan di dalam tanah, di laut dan di udara, di darat secara gravitasi air mengalir dari tempat yang tinggi (gunung, pegunungan, dataran tinggi) ke tempat yang rendah (dataran rendah, daerah pantai) dan bermuara ke wadah air (laut, danau), air meresap ke dalam tanah (infiltrasi dan mengalir secara gravitasi dari dalam tanah dengan elevasi yang lebih tinggi ke lebih rendah. Air yang meresap ini selanjutnya mengalir di daerah *vadose zone* (*soil zone*) sebagai *soil water flow* dan juga mengalir di *phreatic zone* (*groundwater zone* atau *saturated zone*) sebagai *groundwater flow* (Kodoatie, 2012).

Di laut air tawar menjadi air asin, karena panas matahari air baik di muka tanah maupun di laut akan merubah uap/gas disebut dengan proses penguapan atau evaporasi. Air juga diserap tanaman untuk hidup (proses transpirasi) dan dari tanaman karena panas matahari akan berevaporasi, keseluruhan proses perjalanan air masuk ke dalam tanaman, di dalam tanaman dan keluar dari tanaman disebut evapotranspirasi (Kodoatie, 2012). Perbedaan antara presipitasi dan penguapan di zona terestrial adalah limpasan, air bergerak di atas atau di bawah permukaan menuju lautan, yang melengkapi siklus hidrologi (Davie, 2008).



Gambar 2.2. Proses siklus hidrologi

Keterangan :

P = Presipitasi, Q = Limpasan, E = Evaporasi, I = Intercept

Sumber: Davie (2008)

2.3 Cekungan Airtanah

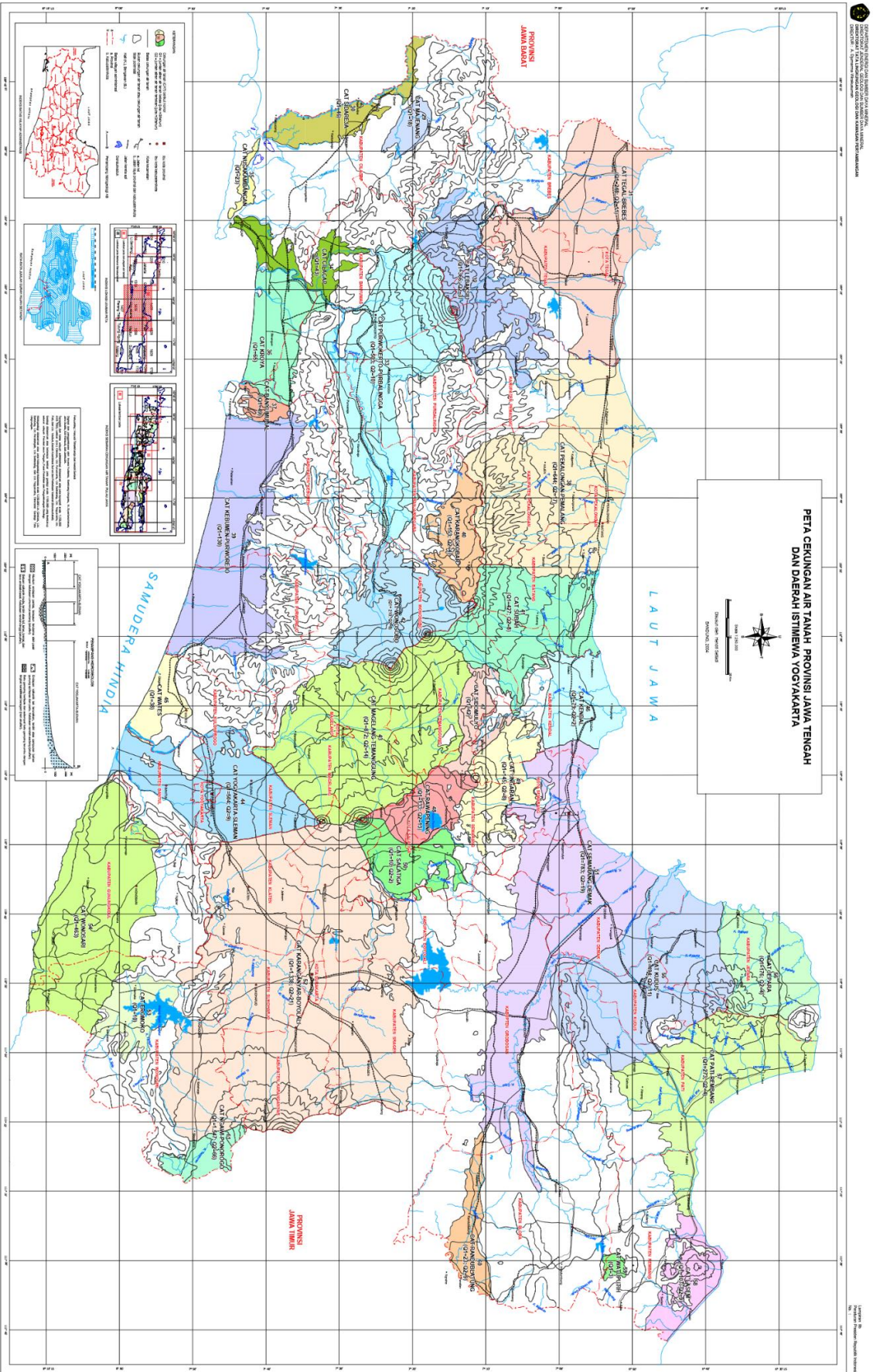
Cekungan air tanah (CAT) adalah suatu wilayah yang dibatasi oleh batas hidrogeologis, tempat semua kejadian hidrogeologis seperti proses pengimbuhan, pengaliran, dan pelepasan air tanah berlangsung (Perda Provinsi Jawa Tengah Nomor 3 Tahun 2018). Dapat didefinisikan bahwa cekungan air tanah adalah batas teknis pengelolaan sumber daya air untuk air tanah (Aryanto, 2018).

Cekungan air tanah di Indonesia terdiri atas akuifer bebas (*unconfined aquifer*) dan akuifer tertekan (*confined aquifer*). Akuifer bebas merupakan akuifer jenuh air (*saturated*). Lapisan pembatasnya, yang merupakan *aquitard*, hanya pada bagian bawahnya dan tidak ada pembatas *aquitard* di lapisan atasannya, batas di lapisan atas berupa muka air tanah, dengan kata lain merupakan akuifer yang mempunyai muka air tanah (Kodoatie, 1996), sedangkan akuifer tertekan merupakan akuifer jenuh air yang dibatasi oleh lapisan atas dan lapisan bawah yang kedap air (*aquiclude*) dan tekanan airnya lebih besar dari tekanan atmosfer. Pada lapisan pembatasnya tidak ada air yang mengalir (*no flux*) (Kodoatie, 1996). Menurut Bear (1979), akuifer tertekan adalah akuifer yang batas lapisan bawah adalah formasi tidak tembus air, muka air akan muncul di atas formasi tertekan bawah. Akuifer ini bisa ada atau tidak pada bawah permukaan tanah.

Tabel 2.1 Kriteria daerah Cekungan Air Tanah (CAT) dan Bukan Cekungan Air Tanah (Non-CAT)

No	Daerah CAT	No	Daerah Non-CAT
a.	Mempunyai batas hidrogeologis yang dikontrol oleh kondisi geologis dan/atau kondisi hidraulik air tanah	a.	Tidak mempunyai batas hidrogeologis
b.	Mempunyai daerah imbuhan dan daerah lepasan air tanah dalam satu sistem pembentukan air tanah	b.	Tidak mempunyai daerah imbuhan dan daerah lepasan air tanah
c.	Memiliki satu kesatuan sistem akuifer, yaitu kesatuan susunan akuifer, termasuk lapisan batuan kedap air yang berada di dalamnya	c.	Tidak memiliki satu kesatuan sistem akuifer

Sumber: Kodoatie (2012)



Gambar 2.3. Peta Cekungan Air Tanah Provinsi Jawa Tengah
Sumber: Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah

2.4 Kualitas Air

Kualitas air merupakan suatu parameter yang ditujukan untuk mengetahui kondisi air sudah sesuai atau melebihi ambang batas kandungan kadar bahan tertentu, khususnya untuk pemanfaatan (Yudo, 2010; Agustianingsih dkk., 2012). Peninjauan kualitas air ditujukan untuk mengetahui kondisi air (fisik, kimia, dan biologi), membandingkan nilai kualitas air dengan baku mutu (tujuan peruntukan penggunaan air), dan menguji kelayakan sumberdaya air (Effendi, 2003). Kualitas air banyak mengalami perubahan khususnya melebihi batas ambang akibat aktivitas manusia (Damarany, dkk., 2009; Agustira, dkk., 2013). Berdasarkan paparan tujuan uji kualitas air dan permasalahan kualitas air maka kajian kualitas air termasuk kajian penting, khususnya dalam mengkaji kerentanan airtanah untuk uji validasi (Aller *et al.*, 1987; Widyastuti, dkk., 2006).

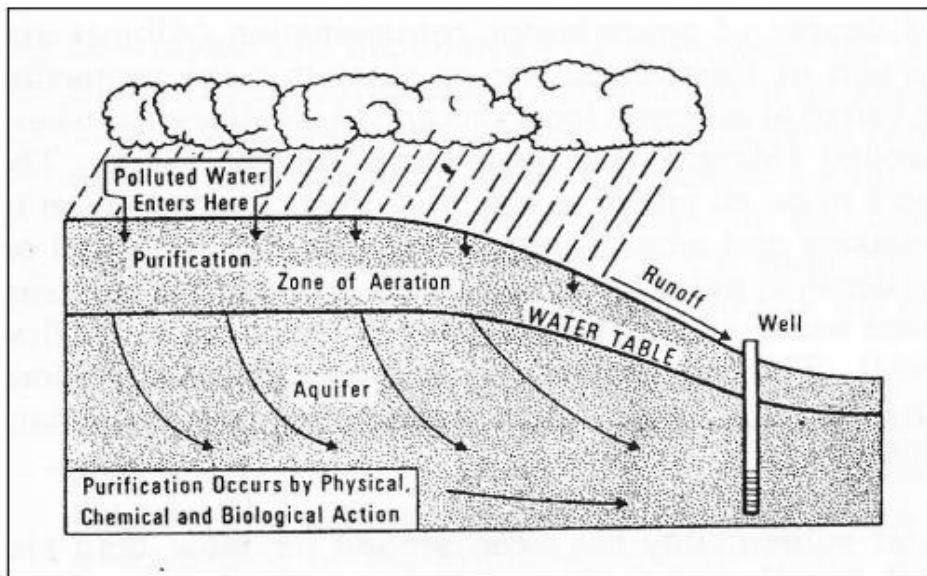
Kualitas airtanah merupakan tingkatan komposisi tertentu pada airtanah yang dikonsumsi (Hoehn, 2011). Pengertian tersebut berbeda dengan pengertian komposisi airtanah yang merupakan gambaran komposisi airtanah (khususnya hubungan dengan kondisi hidrogeologi) (Griffioen, 2004). Parameter kualitas air yang dapat digunakan untuk uji kualitas airtanah menurut Appelo dan Postma, (2005) minimal harus terdapat unsur daya hantar listrik, empat unsur mayor kation (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , dan Ca^{2+}), dan empat unsur mayor anion (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , dan NO_3^-). Selain itu juga terdapat logam berat (Fe, Mn, Ni, Cu, Zn, dan Pb) menurut Srivastava dan Ramanathan (2008) yang menunjukkan pengaruh peningkatan kadar akibat aktivitas manusia.

Terapan dari kualitas airtanah telah dilakukan oleh Sudarmadji (2013) dengan mengkaji kualitas mata air dengan parameter fisik (daya hantar listrik, kekeruhan, temperatur), kimia (pH, Cl^- , HCO_3^- , CaCO_3 , Ca, Mg, NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_3 , dan Fe), dan Biologi (Coliform Total). Hasil dari uji kualitas air tersebut khususnya airtanah dapat dianalisis berdasarkan metode diagram batang, lingkaran, stiff, dan piper (Younger, 2007). Parameter kualitas air yang diuji dalam kerentanan airtanah adalah Nitrat (NO_3^-). Parameter nitrat menunjukkan pencemaran yang diakibatkan oleh limbah domestik dan limbah industri (Darmanto, 2014) serta menunjukkan akibat aktivitas pertanian (Effendi, 2003; Sudarmadji, 2013). Hasil uji parameter nitrat digunakan sebagai validasi penilaian kerentanan airtanah (Ribeiro *et al.*,

2003; Stigter, *et al*, 2005; Boufekane and Saighi, 2013; Gaieb and Hamza, 2013; Khemiri *et al.*, 2013).

2.5 Kerentanan Airtanah

Kerentanan air tanah terhadap pencemaran merupakan tingkat kerentanan air tanah terhadap pencemar yang didasarkan pada kondisi hidrogeologi. Kerentanan Air Tanah dapat dengan mudah diinformasikan melalui media gambar yakni peta kerentana air tanah (Vrba and Zaporozec, 1994). Kerentanan air tanah dapat diasumsikan bahwa lingkungan fisik memiliki tingkat mitigasi air tanah terhadap dampak yang ditimbulkan oleh alam maupun manusia, khususnya kontaminan yang masuk kebawah permukaan. Material-material bumi dapat menjadi penyaring alamiah terhadap zat pencemar yang melewatinya (Vrba and Zaporozec, 1994). Konsep yang mendasar dari kerentanan air tanah adalah lebih besar atau tidaknya kemampuan batuan mencegah pencemaran air tanah di suatu lokasi. Zona tidak jenuh air di atas akuifer sangat berpengaruh terhadap pengurangan konsentrasi dari zat pencemar yang akan masuk kedalam akuifer (Morris *et al.*, 2003). Air yang mengalami infiltrasi ke bawah permukaan dapat tercemar, tetapi mengalami permurnian secara alamiah saat melewati tanah dan material halus lainnya di zona tidak jenuh air (Gambar 2.3).



Gambar 2.4. Alur pemurnian secara alamiah
 Sumber: Vrba & Zaporozec (1994) dalam Hendrayana (2015)

Kerentanan air tanah dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu kerentanan intrisik dan kerentanan spesifik (Aller *et al.*,1987). Kerentanan air tanah intrisik menekankan terhadap faktor kondisi fisik (batuan, tanah dan hidrogeologi) yang secara alami dapat melindungi air tanah terhadap pencemaran. Kerentanan spesifik menekankan pada keberadaan sumber pencemar (Riyanto and Widyastuti, 2016). Kerentanan sumber air tanah dapat pula berarti kemungkinan terhadap pencemar tertentu untuk mencapai muka air tanah di dalam waktu tertentu (Voigt, *et al.*,2004).

2.6 Sumber Pencemar dan Pencemaran Airtanah

Sumber pencemar terdiri atas dua jenis yaitu point source (suatu lokasi tertentu) dan non point (tersebar) (Fitts, 2002; Effendi, 2003). Contoh sumber pencemar point source adalah limbah pabrik, cerobong asap industri dan knalpot mobil. Contoh dari sumber pencemar non point source adalah limbah areal pertanian dan limbah permukiman.

Pencemaran airtanah memiliki karakteristik yang tak tampak, proses yang lama, dan pergerakan polutan yang lambat (Kovalevsky and Vrba, 2004). Sumber pencemaran airtanah menurut Fitts (2002) terbagi menurut ukuran dan bentuk dapat melalui pipa bawah tanah, septic tank, buangan limbah pabrik, limbah kimia, landfills dan pencemaran lain (aktivitas tambang, aktivitas pertanian, dan sumur injeksi). Pencemaran airtanah tersebut juga dipengaruhi oleh aliran dan pergerakan airtanah yang memberikan dampak terhadap menyebarnya bahan pencemar (Travis dan Etnier, 1984; Appelo dan Postma, 2005).

2.7 Penilaian Kerentanan Airtanah

Menilai tingkat kerentanan air tanah sangat penting karena dapat menjadi alat yang sangat berguna bagi pemerintah dalam mengambil keputusan dalam pengelolaan air tanah (Ribeiro *et al.*,2017). Metode untuk menilai kerentanan air tanah dapat dibagi dalam metode indeks, metode statistik, dan metode proses (Focazio *et al.*,2002). Metode indeks dengan cara menetapkan skor atau peringkat numerik langsung ke berbagai atribut fisik untuk mengembangkan berbagai

kategori kerentanan. Metode statistik berkisar dari ringkasan sederhana atau statistik deskriptif dari konsentrasi kontaminan yang ditargetkan hingga analisis regresi yang lebih kompleks yang menggabungkan efek dari beberapa variabel prediktor. Metode berbasis proses mengacu pada pendekatan yang mensimulasikan atau memperhitungkan proses fisik pergerakan air dan serta pengangkutan kontaminan di lingkungan. Pendekatan-pendekatan ini biasanya mencakup penggunaan model simulasi proses yang menghitung distribusi daerah yang rentan atau yang secara intrinsik rentan berdasarkan pergerakan air dan zat terlarut (Ribeiro, Carlos and Dominguez-granda, 2017).

Sejarah pengenalan kerentanan airtanah pertama kali di Perancis oleh Margat pada tahun 1960 (Vrba and Zaporozec, 1994; Widyastuti dkk., 2006). Margat menjelaskan bahwa secara alami kondisi lingkungan fisik memiliki kemampuan dalam melindungi airtanah dari bahan pencemar oleh aktivitas manusia. Konsep tersebut dikembangkan oleh Ferreira (1997) dalam (Widyastuti dkk., 2006) menyatakan bahwa kerentanan airtanah untuk tercemar dipertimbangkan dari risiko statis dan dinamis. Kedua konsep tersebut kemudian dikembangkan oleh (Aller *et al.*, 1987) yang mengembangkan konsep kerentanan airtanah terhadap pencemaran dengan metode DRASTIC (intrinsik dan spesifik). Berikutnya pengembangan teori kerentanan airtanah dikembangkan oleh Vrba dan Zaporozec (1994) dengan membuat buku acuan pemetaan kerentanan airtanah.

Latar belakang berkembangnya kajian mengenai kerentanan airtanah terhadap pencemaran adalah semakin meningkatnya kebutuhan penduduk akan air sehingga diperlukan suplai air yang jumlahnya besar dan potensial khususnya airtanah (Aller *et al.*, 1987). Hal tersebut menjadi kekhawatiran dari peneliti apabila terjadi eksploitasi penggunaan airtanah akan berdampak pada penurunan kualitas dan kuantitas airtanah dimasa yang akan datang (Aller *et al.*, 1987; Vrba and Zaporozec, 1994). Berdasarkan latar belakang tersebut banyak kajian kerentanan airtanah yang berkembang pada tiap negara contohnya Amerika (Aller *et al.*, 1987), Swedia (Rosen, 1994), Perancis (Margat, 1960), Italy (Civita, 2010), dan Portugal (Ribeiro *et al.*, 2003). Masing-masing perkembangan kajian kerentanan tentunya memiliki karakteristik yang berbeda (Vrba and Zaporozec, 1994; Civita, 2010).

Latar belakang lain yang mendasari konsep kerentanan airtanah adalah penilaian terhadap perlindungan airtanah. Perlindungan airtanah merupakan kemampuan alami yang dimiliki airtanah sehingga dapat terhindar dari bahan pencemar baik secara alami maupun oleh aktivitas manusia (Aller *et al.*, 1987; Vrba and Zaporozec, 1994; Widyastuti,dkk., 2006). Perlindungan airtanah dipengaruhi oleh ketebalan lapisan pelindung dan hidraulik konduktivitas serta dipengaruhi oleh proses mekanik, kimia fisik, dan mikrobiologi dalam membawa pencemar menuju airtanah (Kirsch, 2009). Kondisi filtrasi alami dan proses biogeokimia menjadi salah satu faktor penyebab masuknya sumber pencemar melalui permukaan sebelum masuk ke zona jenuh (Younger, 2007). Berdasarkan karakteristik perlindungan airtanah dan berbagai macam proses yang terjadi didalamnya maka diperlukan suatu penekanan dalam mengatur aktivitas pada area tertentu sesuai dengan kondisi kerentanan akuifernya sehingga dapat meminimalisasi risiko pencemaran airtanah (Price, 1996).

Kerentanan airtanah sendiri menurut (Vrba and Zaporozec, 1994; Kumar *et al.*, 2014) menekankan faktor utama berupa kondisi hidrogeologi tanpa memperhatikan karakteristik polutan. Penilaian kerentanan airtanah memiliki fungsi untuk dasar pembuatan kebijakan untuk permasalahan airtanah (Vrba and Zaporozec, 1994). Berdasarkan pentingnya kerentanan airtanah terdiri dari kerentanan intrinsik dan spesifik (Aller *et al.*, 1987). kerentanan intrinsik merupakan kerawanan dari sistem akuifer baik dari sisi geometri dan hidrodinamik untuk menerima maupun menyalurkan air atau bahan pencemar sehingga memiliki dampak terhadap kualitas airtanah yang dilihat berdasarkan fungsi ruang dan waktu (Civita and Maio, 2004). Kerentanan intrinsik dipengaruhi oleh tiga faktor penting menurut (Civita, 2010) yaitu :

- a. Proses dan waktu yang dibutuhkan untuk berpindah air atau polutan dari zona tidak jenuh ke zona jenuh;
- b. Dinamika aliran pada zona jenuh yang mempengaruhi air atau pollutan;
- c. Kondisi kemampuan pemulihan diri dari akuifer terhadap hasil sisa residu polutan.

Kerentanan spesifik merupakan pengembangan dari kerentanan intrinsik yang memperhatikan sumber pencemar dan jenisnya (Margane, 2003; Widyastuti

dkk., 2006). Kerentanan spesifik meliputi kajian dari dampak potensial manusia dalam ruang dan waktu (Vrba and Zaporozec, 1994). Berdasarkan penjelasan kerentanan airtanah intrinsik dan spesifik keduanya memiliki fungsi yang penting. Fungsi kerentanan intrinsik sebagai dasar awal informasi potensial area tercemar berdasarkan kondisi hidrogeologi dan kerentanan spesifik yang mempertimbangkan sumber pencemar. Hasil kedua kerentanan tersebut dibandingkan dengan pengukuran kualitas air di lapangan sehingga diketahui ketepatan metode penilaian kerentanan airtanah (Ferreira and Oliviera, 2004; Boufekane and Saighi, 2013; Khemiri *et al.*, 2013).

Metode penilaian kerentanan yang dijelaskan oleh Vrba and Zaporozec, (1994) diperkuat contoh metode tiap penilaian kerentanan airtanah yang dirangkum sesuai dengan (Tabel 2.2). Tiap metode memiliki spesifikasi dalam penilaian kerentanan airtanah menurut Vrba and Zaporozec, (1994). HCS diterapkan pada area yang luas dan variasi kondisi lingkungan yang masih alami. MS, (RS), dan PCSM menggunakan sistem bobot dan skor pada tiap parameter kerentanan airtanah. AR menggunakan persamaan matematika dalam menilai kerentanan spesifik.

Berdasarkan rincian metode penilaian kerentanan airtanah tersebut (Tabel 2.2) terdapat penelitian yang membandingkan beberapa metode. Penelitian pertama oleh Ferreira dan Oliviera, (2004) membandingkan penilaian kerentanan airtanah metode EPPNA, DRASTIC, GOD, AVI, SINTACS, dan SI. Penelitian kedua oleh (Khemiri *et al.*, 2013) dengan membandingkan metode GOD, SI, SINTACS, dan DRASTIC. Penelitian ketiga dilakukan oleh Boufekane and Saighi, (2013) membandingkan metode DRASTIC, SI dan GOD dengan hasil validasi kualitas air metode DRASTIC yang paling cocok dengan kesamaan kerentanan hasil penilaian (71%). Hasil perbandingan beberapa metode penilaian kerentanan airtanah tersebut memiliki hasil dan akurasi yang berbeda hal tersebut dipengaruhi dari kerincian parameter, spesifikasi metode dan kondisi fisik lokasi kajian.

Tabel 2.2 Metode Penilaian Kerentanan Airtanah terhadap Pencemaran

Metode	Metode>Nama Peneliti	Lokasi Kajian
PCSM	DRASTIC/Aller <i>et al.</i> ,(1987)	USA
	SINTACS/Civita (1991),Civita and Maio,(2000)	Italy
	ISIS/De Regibus (1994)	-
	EPIC/ Doerfliger and Zwahlen (1997)	Swis
MS	Goossens dan Van Damme (1987), Minstry of Flemish Community (1986)	Belgia
	Adam and Foster (1992)	
	Carter <i>et al.</i> , (1987) Palmer (1988)	Inggris
RS	Fenge (1976)	Kolombia
	Method 1/Marcolongo dan Pretto (1987)	Kanada
	Sotornokiova dan Vrba (1987)	Italy
	Vilumsen, <i>et al.</i> , (1989)	Denmark
	Trojan and Perry (1988)	-
	AVI/Van Stempvoort, <i>et al.</i> , (1993)	Kanada
	Zoporozec and Schmidt (1987)	USA
	GOD/ Foster (1987)	-
AR	Fried (1987), Zampetti (1983)	-
	Meinardi (1982)	Belanda
	Method 2/Marcolongo dan Pretto (1987)	-

Sumber : Gogu and Dessargues (2000); Civita and Maio (2004); Civita (2010)

2.8 Metode *Susceptibility Index* (SI)

Salah satu metode untuk menilai kerentanan air tanah selain metode DRASTIC adalah *Susceptibility Index* (SI) yang merupakan metode hasil pengembangan dari metode DRASTIC oleh Ribeiro *et al.*,(2003) dan dari hasil penelitian Stigter *et al.*, (2006) adalah merupakan langkah mendasar dalam validasi SI, karena penelitian tersebut membuktikan bahwa penggabungan penggunaan lahan dalam perhitungan indeks kerentanan tanah dapat memperkuat penilaian kerentanan air tanah akibat pencemaran nitrat dari pertanian. Validasi kerentanan air tanah dengan konsentrasi nitrat yang diukur secara insitu dapat menunjukkan keunggulan SI daripada DRASTIC (Ribeiro, Carlos and Dominguez-granda, 2017).

Beberapa penelitian mencoba metode SI pada wilayah yang tidak dominan pertanian karena metode SI juga memiliki penilaian terhadap sumber pencemar selain dari pertanian (Ferreira and Oliviera, 2004; Boufekane and Saighi, 2013; Gaieb and Hamza, 2013; Khemiri *et al.*, 2013). Beberapa sumber pencemar selain

dari lingkup pertanian adalah lingkungan buatan manusia dan lingkungan alam. Hasil validasi uji kualitas airtanah dengan metode SI tidak terlampaui jauh pada masing-masing penilaian kerentanan airtanah meskipun terkadang memiliki nilai yang dibawah hasil uji kualitas airtanah (Stigter *et al.*, 2005).

Parameter yang digunakan dalam metode SI menurut Ribeiro (2000, dalam Ribeiro, 2003; Stigter, et al., 2005) terdiri atas lima parameter yaitu :

D : Depth of water (kedalaman muka airtanah)

R : Recharge (imbuhan airtanah)

A : Akuifer media (media akuifer)

T : Topography (lereng)

LU : Land use (penggunaan lahan)

Setiap parameter tersebut memiliki nilai yang berbeda khususnya skor dan bobot. Hal tersebut dipengaruhi oleh tingkat pengaruh parameter terhadap pencemaran airtanah (Stigter, et al., 2005; Gaieb dan Hamza, 2013).

2.9 Nitrat

Nitrat (NO_3^-) adalah bentuk senyawa utama nitrogen di dalam air tanah dan merupakan nutrient utama bagi pertumbuhan tanaman dan alga. Nitrat sangat mudah larut dalam air dan bersifat stabil (Effendi, 2003). Nitrat adalah salah satu jenis kontaminan yang mudah mencemari air tanah dari permukaan, oleh karena itu, parameter nitrat dalam lahan pertanian dapat dijadikan sebagai indikator bagaimana kontaminasi nitrat dapat dengan mudah mencemari air tanah, sehingga dijadikan sebagai konsep penentuan tingkat kerentanan (Gemilang, Kusumah and Wisna, 2017).

Nitrat merupakan salah satu parameter pencemar yang berasal dari limbah domestic (rumah tangga). Ammoniak (NH_3) yang dihasilkan dari limbah tersebut melalui bakteri diubah menjadi nitrat dengan reaksi nitrifikasi. Nitrifikasi yang merupakan proses oksidasi ammonia menjadi nitrat adalah proses yang penting dalam siklus nitrogen (Effendi, 2003). Kadar Nitrat yang tinggi dapat bersifat toksik dan dapat mengganggu kesehatan manusia. Menurut Hammer dan MacKichan (1981), tingginya konsentrasi nitrat di daerah perkotaan disebabkan oleh besarnya masukan limbah rumah tangga (limbah domestic), yang dipengaruhi dengan tingkat

kepadatan. Keberadaan nitrat dalam air tanah disebabkan oleh aktivitas manusia seperti penggunaan pupuk buatan. Pemicu yang dari penyebaran nitrat dapat pula terjadi akibat dari perubahan pola aliran air tanah, daerah resapan yang berubah menjadi daerah luahan yang diakibatkan oleh pengambilan air tanah yang tidak terkontrol, sehingga terjadi penurunan muka air tanah dan terjadi tekanan hidrostatik yang menyebabkan migrasinya polutan bersama air tanah ke dalam akuifer (Lubis and Sakura, 2007).

2.10 Sistem Informasi Geografis

Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah suatu sistem atau teknologi berbasis komputer yang dibangun dengan tujuan untuk mengumpulkan, menyimpan, mengolah dan menganalisa, serta menyajikan data dan informasi dari suatu obyek atau fenomena yang berkaitan dengan letak atau keberadaannya di permukaan bumi. Pada dasarnya SIG dapat dirinci menjadi beberapa subsistem yang saling berkaitan yang mencakup input data, manajemen data, pemrosesan atau analisis data, pelaporan (*output*) dan hasil analisa (Ekadinata, dkk. 2008).

Sistem informasi geografis berkembang sejak akhir tahun 1970-an. Pada awal perkembangannya, teknologi sistem informasi geografis ditekankan pada pengumpulan data dari sistem peta cetak (*hardcopy*) dan data tabular atau numerik yang terkait ke suatu sistem basis data spasial digital (*softcopy*). Dimasa yang akan datang, penggunaan teknologi sistem informasi geografis lebih ditekankan pada analisis data. Hal ini dianggap wajar, karena data yang dibutuhkan sebagai basis data telah tersedia dengan baik dan memadai (diperoleh antara lain melalui teknologi penginderaan jauh), sehingga pemanfaatan teknologi sistem informasi geografis lebih ditekankan pada analisis data untuk mendapatkan informasi yang variatif.

2.11 Resiko Airtanah terhadap Pencemaran Metode SI

Resiko airtanah terhadap pencemaran merupakan tingkat resiko yang timbul akibat kaitannya dengan penggunaan lahan di permukaan tanah. Karena sumber pencemar atau zat polutan biasanya dihasilkan dari aktifitas manusia. Pembuatan peta resiko kerentanan air tanah dilakukan dengan menggabungkan Peta kerentanan

air tanah terhadap pencemaran dengan peta Penggunaan Lahan Kota Semarang yang telah dilakukan pembobotan.