

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kebutuhan Air Secara Umum

Air merupakan kebutuhan yang mutlak diperlukan oleh manusia, hewan dan tumbuhan. Air dimanfaatkan manusia untuk berbagai keperluan hidup, seperti mandi, mencuci, memasak, air minum, dan keperluan lainnya. Oleh karena itu, air harus bebas dari pencemaran dan memenuhi tingkat kualitas tertentu sesuai dengan kebutuhan.

Air bersih adalah air yang digunakan untuk keperluan sehari-hari dan akan menjadi air minum setelah dimasak terlebih dahulu. Sebagai batasannya, air bersih adalah air yang memenuhi persyaratan bagi sistem penyediaan air minum, dimana persyaratan yang dimaksud adalah persyaratan dari segi kualitas yang meliputi kualitas fisik, biologis, kimia, dan radiologi, sehingga apabila di konsumsi tidak menimbulkan efek samping (Ketentuan Umum Permenkes No. 416/Menkes/IX/1990).

2.1.1 Air Permukaan (*Surface Water*)

Air tawar berasal dari dua sumber, yaitu air permukaan (*surface water*) dan air tanah (*groundwater*). Air permukaan adalah air yang berada di sungai, danau, waduk, rawa dan badan air lainnya, yang tidak mengalami infiltrasi ke bawah tanah. Areal tanah yang mengalirkan air ke suatu badan air disebut *watersheds* atau *drainage basins*. Air yang mengalir dari daratan menuju suatu badan air disebut limpasan permukaan (*surface run off*) dan air yang mengalir di sungai menuju laut disebut aliran air sungai (*river run off*). Sekitar 69% air yang masuk ke sungai berasal dari hujan, pencairan es/salju (terutama untuk wilayah Ughari) dan sisanya berasal

dari air tanah. Wilayah di sekitar daerah aliran sungai yang menjadi tangkapan air disebut *catchment basin* (Effendi.H, 2003).

Kualitas air permukaan yang ada pada permukaan bumi ini diharapkan mampu mendukung kehidupan satwa perairan dan mempunyai nilai estetis, meskipun kualitas lingkungan sekitar mempengaruhi. Demikian pula, air permukaan tersebut dapat diolah dengan menggunakan prosedur standar untuk konsumsi manusia. Air permukaan dapat diklasifikasikan sesuai dengan keperluan pemakaian. Apabila tujuan pemanfaatan air permukaan telah ditentukan, maka klasifikasi berdasarkan pada karakteristik fisik, biologi dan kimia. Kualitas air permukaan perlu disesuaikan dengan standar baku mutu air untuk keperluan tertentu. Klasifikasi yang lazim digunakan untuk menentukan kualitas air permukaan meliputi kriteria-kriteria untuk oksigen terlarut, partikel-partikel terlarut dalam *coliform*. Parameter-parameter terlarut lainnya yang biasanya dimanfaatkan untuk menentukan status kualitas air untuk pemanfaatan tertentu adalah pH, toksisitas, bau, rasa, suhu warna, dan unsur-unsur yang bersifat radiasi.

2.1.2 Air Tanah (*Groundwater*)

Air tanah adalah air yang bergerak dalam tanah yang terdapat di dalam ruang-ruang antara butir tanah yang membentuk ikatan itu dan di dalam retakan-retakan batuan. Air tanah mengandung garam dan mineral yang terlarut pada saat air melewati lapisan-lapisan tanah. Air tanah terdiri dari air tanah dangkal, air tanah dalam dan mata air. Air tanah dapat ditemukan pada akuifer dengan pergerakan yang lambat. Hal ini yang menyebabkan air tanah sulit untuk pulih jika terjadi pencemaran.

a. Air Tanah Dangkal

Yaitu air yang terdapat diatas lapisan kedap air pertama. Air tanah dangkal sangat rentan terhadap pencemaran. Di daerah padat penduduk, biasanya air tanah telah tercemar oleh limbah domestik (*septic tank*, saluran drainase/irigasi). Hanya di

daerah-daerah yang mempunyai kepadatan penduduk rendah, air tanah dangkal mempunyai kualitas cukup baik.

Air tanah dangkal terjadi karena adanya proses peresapan air dari permukaan tanah. Lumpur dan sebagian bakteri akan tertahan, sehingga air tanah akan jernih tetapi lebih banyak mengandung zat-zat kimia (garam-garam terlarut) karena air tersebut selama dalam perjalanannya melewati lapisan tanah yang mengandung unsur-unsur kimia tertentu untuk masing-masing lapisan tanah.

Lapisan tanah disini berfungsi sebagai saringan. Disamping penyaringan, pengotoran juga masih terus berlangsung, terutama pada muka air yang dekat dengan muka tanah. Setelah menemui lapisan rapat air, air akan terkumpul merupakan air tanah dangkal dimana air dapat dimanfaatkan untuk sumber air minum melalui sumur-sumur dangkal.

b. Air tanah dalam

Yaitu air yang terdapat dibawah lapisan kedap air (aquifer) pertama. Air tanah ini mempunyai sifat yang berlawanan dengan air tanah dangkal dimana fluktuasinya relative tidak terjadi (kecil). Kualitas air tidak tergantung pada kegiatan lingkungan diatasnya. Kualitas tergantung pada batuan dimana air tanah tersebut berada. (Hakim.L, 2005)

Pengambilan air tanah dalam tidak semudah pada air tanah dangkal. Dalam hal ini harus digunakan bor dan memasukkan pipa kedalamnya hingga kedalaman tertentu (biasanya 100-300 m) akan didapatkan suatu lapisan air. Kualitas dari air tanah dalam pada umumnya lebih baik dari air tanah dangkal, karena penyaringannya lebih sempurna dan bebas dari bakteri. Susunan unsur-unsur kimia tergantung pada lapisan-lapisan tanah yang dilaluinya.

c. Mata air

Mata air adalah air tanah yang keluar dengan sendirinya ke permukaan tanah. Mata air yang berasal dari tanah dalam, hampir tidak terpengaruh oleh musim dan kuantitas dan kualitas sama dengan air tanah dalam. Selain itu gaya gravitasi juga mempengaruhi aliran air tanah menuju ke laut. Tetapi dalam perjalanannya air tanah juga mengikuti lapisan geologi yang berkelok sesuai jalur aquifer dimana air tanah tersebut berada. Bila terjadi patahan geologi di dekat permukaan tanah, maka aliran air tanah dapat muncul pada permukaan bumi, pada tempat tertentu. Sebagai tumpahan air tanah alami yang pada umumnya berkualitas baik, mata air dijadikan pilihan sumber air bersih yang di cari-cari dan diperebutkan oleh penduduk kota (Asdak.C, 2004)

Adapun karakteristik air tanah ditunjukkan pada **Table 2.1**

Tabel 2.1. Karakteristik Fisika dan Kimia Tanah dengan Tekstur yang Berbeda.

Tekstur Tanah	Kapasitas Penahanan Nutrien	Infiltrasi Air	Kapasitas Penahanan Air	Aerasi
1. Tanah liat pekat	Baik	jelek	Baik	jelek
2. Lumpur	Sedang	sedang	sedang	sedang
3. Pasir	Jelek	baik	Jelek	baik
4. Tanah liat	Sedang	sedang	sedang	sedang

Sumber: Modifikasi Miller, 1992

Pengetahuan menyeluruh tentang sistem penampungan air dan gerakan air tanah dianggap penting untuk suatu pemahaman yang lebih baik mengenai proses dan mekanisme daur hidrologi. Air permukaan dan air tanah pada prinsipnya mempunyai keterkaitan yang erat serta keduanya mengalami pertukaran proses yang berlangsung

terus-menerus. Selama musim kemarau, kebanyakan sungai masih mengalirkan air. Air sungai tersebut sebagian besar berasal dari dalam tanah, terutama dari daerah hulu sungai yang pada umumnya merupakan daerah resapan yang didominasi oleh daerah bervegetasi (hutan). Karena letaknya yang tinggi, daerah hulu juga memiliki curah hujan yang lebih besar. Oleh adanya kombinasi kedua daerah tersebut, selama berlangsungnya musim hujan sebagian besar air hujan dapat ditampung oleh daerah resapan dan dialirkan ke tempat yang lebih rendah sehingga kebanyakan sungai masih mengalir pada musim kemarau. Namun di beberapa tempat aliran sungai dapat berhenti pada musim kemarau, artinya sungai tidak lagi mampu mengalirkan air. Selain faktor permukaan tanah yang ikut mempengaruhi proses terbentuknya air tanah, ada faktor yang tidak kalah pentingnya dalam mempengaruhi proses terbentuknya air tanah. Faktor tersebut adalah formasi geologi, yaitu formasi batuan atau material lain yang berfungsi menyimpan air tanah dalam jumlah besar. Proses terbentuknya air tanah dalam formasi geologi dikenal dengan akifer (*aquifer*). Pada dasarnya akifer adalah kantong air yang berada di dalam tanah. Akifer dibedakan menjadi dua, yaitu akifer bebas (*unconfined aquifer*) dan akifer terkekang (*confined aquifer*). (Asdak.C, 2004).

Aquifer bebas terbentuk ketika tinggi muka air tanah menjadi batas atas zona tanah jenuh. Tinggi muka air tanah berfluktuasi dan bergantung pada jumlah dan kecepatan air hujan masuk ke dalam tanah, pengambilan air tanah dan permeabilitas tanah. Sedangkan akifer terkekang atau artesis, terbentuk ketika air tanah dalam dibatasi oleh lapisan kedap air sehingga tekanan di bawah lapisan kedap air tersebut lebih besar daripada tekanan atmosfer (Asdak.C, 2004).

Pemanfaatan air tanah dalam jumlah besar seperti lingkungan industri, kompleks perumahan, pertanian modern dan aktivitas manusia lainnya yang memerlukan air dalam jumlah besar, umumnya memanfaatkan sumur dalam guna mencukupi kebutuhan air yang diperlukan. Dalam sistem pengolahan air tanah yang sudah tertata, pengambilan air tanah akan selalu disesuaikan dengan tingkat

kebutuhan. Pada tingkat pengelolaan seperti ini, informasi tentang potensi air tanah yang ada di daerahnya menjadi penting. Oleh karenanya, potensi air tanah tersebut perlu dipetakan untuk perencanaan pemanfaatan selanjutnya sebagai referensi pembandingan dengan penelitian sebelumnya terhadap penelitian yang akan dilakukan khususnya tentang arah aliran air tanah terhadap bakteri *E.coli*(Hakim.L, 2005)

2.2 Kualitas Air

Sebagai bagian dari kepedulian tentang lingkungan hidup, kualitas air menjadi bagian yang penting dalam isu pengembangan sumber daya air. Kualitas air dalam hal ini mencakup keadaan fisik, kimia dan biologi yang dapat mempengaruhi ketersediaan air untuk kehidupan manusia, pertanian, industri, rekreasi, dan pemanfaatan air lainnya. Status kualitas air berkaitan dengan kuantitas air seperti telah dibicarakan pada bagian-bagian terdahulu. Karakteristik fisik terpenting yang dapat mempengaruhi kualitas air, dan dengan demikian, berpengaruh pada ketersediaan air untuk berbagai pemanfaatan seperti tersebut diatas adalah konsentrasi sedimen dan suhu air (Hakim.L, 2005)

2.2.1 Karakteristik Fisik perairan

Di antara karakteristik perairan (alamiah) yang dianggap penting adalah konsentrasi larutan sedimen, suhu air, dan tingkat oksigen terlarut dalam suatu sistem aliran air. Larutan sedimen yang sebagian besar terdiri atas larutan lumpur dan beberapa berbentuk koloida-koloida dari berbagai material inilah yang seringkali mempengaruhi kualitas air dalam kaitannya dengan pemanfaatan sumber daya air untuk kehidupan manusia dan bagi kehidupan organisme akuatik lainnya. Meningkatnya suhu perairan yang dapat diklasifikasikan sebagai pencemar perairan dapat mempengaruhi kehidupan organisme akuatik secara langsung maupun tidak langsung. Sementara itu, oksigen terlarut dalam perairan dapat dimanfaatkan sebagai indikator atau sebagai indeks sanitasi kualitas air.

2.2.2 Kualitas Air Alamiah

Sungai dan danau yang dijumpai di hampir semua tempat pada mulanya, sebelum mendapat gangguan manusia, mempunyai kualitas air yang bersifat alamiah. Debu, mineral-mineral atmosfer dan berbagai macam gas banyak yang terlarut dalam air hujan yang pada gilirannya akan menentukan status kualitas air alamiah badan air atau sungai tersebut. Mineral dan gas yang umum ditemukan terlarut dalam air hujan adalah karbon, sulfur, sodium, kalsium, oksigen, nitrogen dan silikon. Selama berlangsungnya proses intersepsi air hujan, air lolos (*throughfall*) dan air aliran batang (*stemflow*) akan membawa serta lebih banyak bahan mineral dan unsur-unsur organik dari tubuh vegetasi (daun dan batang/cabang). Seiring dengan perjalanan air yang telah bercampur dengan mineral tersebut ke permukaan tanah, terjadilah pencampuran dan pertukaran mineral dan unsur-unsur hara yang berasal dari komponen-komponen fauna dan flora di dalam tanah. Ketika air muncul sebagai aliran air sungai, maka unsur-unsur organik dan non-organik yang terlarut dalam aliran sungai tersebut merupakan perwakilan dari unsur-unsur mineral yang ada dalam Daerah Aliran Sungai (DAS) dan Sub Daerah Aliran Sungai (sub-DAS) yang menjadi kajian dalam kualitas air secara alami. Komponen-komponen pembentuk status kualitas air akan mengalami perubahan lebih lanjut karena air tersebut akan berinteraksi dengan berbagai vegetasi yang tumbuh di pinggi-pinggir sungai (*Riparian vegetation*). Proses abrasi dan erosi tebing sungai akan menambah larutan unsur-unsur non-organik kedalam aliran sungai.

2.3 Karakteristik Akifer

Formasi geologi baik yang terletak pada zona bebas maupun daerah terkekang, dapat memberikan pengaruh tertentu terhadap keberadaan air tanah. Dengan demikian, karakteristik akifer mempunyai peranan yang menentukan dalam proses pembentukan air tanah.

A. Tipe Aquifer

Dalam menentukan kesesuaian formasi geologi untuk tujuan pengisian air tanah, ada beberapa faktor yang harus diperhatikan. Untuk studi kelayakan atau penelitian yang menekankan pentingnya proses dan mekanisme pengisian air tanah, karakteristik formasi geologi atau akifer yang relevan untuk dipelajari adalah:

1. Tipe formasi batuan, karena jenis batuan akan menentukan tingkat permeabilitas akifer
2. Kondisi tekanan hidrolik dalam tanah, yakni untuk menentukan apakah air tanah berada di zona bebas atau zona terkekang.
3. Kedalaman permukaan potensiometrik di bawah permukaan tanah, terutama disekitar daerah pelepasan atau pengambilan air.

Untuk mengetahui tipe formasi batuan induk, hal yang umum dilakukan adalah dengan membuat klasifikasi batuan menjadi formasi batuan tersepih (*fractured rocks*), batuan yang bersifat *porous* dan batuan yang tidak terkonsolidasi (*unconsolidated rocks*). Formasi batuan tersepih terdiri dari semua jenis batuan metamorfik, batuan vulkanik serta batuan sedimen lainnya. Batuan yang bersifat *porous* meliputi batuan berstruktur pasir dan jenis batuan granit, serta batuan yang tidak terkonsolidasi meliputi kerikil (*gravel*), pasir dan debu. Sifat permeabilitas batuan yang bersifat *porous* dan batuan yang tidak terkonsolidasi umumnya berkaitan dengan ukuran dan tingkat kedekatan ruangan-ruangan (udara) yang tercipta dalam masing-masing batuan tersebut. Sedangkan besarnya permeabilitas batuan jenis tersepih ditentukan oleh ukuran, frekuensi dan tingkat jalinan serpihan-serpihan batuan tersebut. Oleh karenanya, air tanah yang bergerak melalui formasi geologi atau akifer yang termasuk tidak terkonsolidasi relative menjadi lebih lambat, tetapi sebaran air tanah tersebut menjadi lebih merata (Asdak.C, 2004).

B. Zona Akifer

Untuk usaha-usaha pengisian kembali air tanah melalui peningkatan proses infiltrasi tanah serta usaha-usaha reklamasi air tanah, maka kedudukan akifer dapat dipandang dari dua sisi yang berbeda:

- 1) Zona akifer tidak jenuh adalah zona penampungan air di dalam tanah yang terletak di atas permukaan air tanah (*water table*) baik dalam keadaan alamiah (permanen) atau sesaat setelah berlangsungnya periode pengambilan air tanah.
- 2) Zona akifer jenuh adalah zona penampungan air tanah yang terletak di bawah permukaan air tanah kecuali zona penampungan air tanah yang sementara jenuh dan berada dibawah daerah yang sedang mengalami pengisian air tanah.

Zona akifer tidak jenuh merupakan zona penyimpanan air tanah yang paling berperan dalam mengurangi kadar pencemaran air tanah dan karenanya zona ini sangat penting untuk usaha-usaha reklamasi dan sekaligus pengisian kembali air tanah. Sedangkan zona akifer jenuh lebih berfungsi sebagai pemasok air tanah yang memiliki keunggulan dibandingkan dengan zona akifer tidak jenuh dalam hal akifer yang pertama tersebut mampu memasok air tanah dalam jumlah lebih besar serta mempunyai kualitas air yang lebih baik (Todd,1960).

2.4 Arah Aliran Air Tanah

Arah aliran air tanah di tentukan dengan metode "*Three Point Problem*", yaitu dengan cara membuat garis lurus terhadap garis kontur air tanah. Prinsip dasar dalam penentuan arah aliran air tanah adalah pergerakan dari tempat yang tinggi ke tempat yang rendah. Untuk mendapatkan arah aliran maka langkah awal adalah membuat kontur air tanah, cara yang paling mudah di laksanakan adalah mengukur kedalaman sumur, ketinggian sumur. Pengukuran beberapa kedalaman sumur, maka akan didapat kontur air tanah dengan system interpolasai. Arah aliran di daerah

penelitian, sesuai dengan kemiringan topografi yaitu utara-selatan (Suprayogi.S, 1995).

Perbedaan potensi kelembaban total dan kemiringan antara dua titik atau lokasi dalam lapisan tanah dapat menyebabkan gerakan air dalam tanah. Air bergerak dari tempat dengan potensi kelembaban tinggi ke tempat dengan potensi kelembaban rendah. Selanjutnya air akan bergerak mengikuti lapisan (lempengan) formasi geologi sesuai dengan arah kemiringan lapisan formasi geologi tersebut. Kelembaban tanah tidak selalu mengakibatkan gerakan air dari tempat basah ke tempat kering. Air dapat bergerak dari tempat kering ke tempat basah seperti terjadi pada proses perkolasi air tanah. Oleh pengaruh energi panas matahari, air juga dapat bergerak ke arah permukaan tanah, sampai tiba gilirannya menguap ke udara (proses evaporasi) (Suprayogi.S, 1995).

Model aliran air tanah itu sendiri akan dimulai pada daerah resapan air tanah atau sering juga disebut sebagai daerah imbuhan air tanah (*recharge zone*). Daerah ini adalah wilayah dimana air yang berada di permukaan tanah baik air hujan ataupun air permukaan mengalami proses penyusupan (*infiltrasi*) secara gravitasi melalui lubang pori tanah/batuan atau celah/rekahan pada tanah/batuan.

tertekan dalam sumur bor yang sebelumnya telah menembus lapisan penutupnya (Fajar. R, 2006).

Semakin tinggi kedudukan permukaan air tanah, tenaga hisap potensial menjadi semakin kecil. Dengan kata lain, semakin besar tenaga hisap, tanah menjadi semakin kering. Dengan memahami konsep gerakan air tanah, ada dua hal yang relevan untuk dibicarakan, yaitu:

1. Pengambilan air tanah

Penurunan permukaan air tanah sebagai akibat kegiatan pengambilan air tanah, akan terbentuk cekungan permukaan air tanah (*cone of depression*). Pengambilan secara besar dilakukan oleh masyarakat di kawasan industri, fasilitas umum (pasar, tempat ibadah, hotel). Keadaan ini akan menyebabkan selisih tinggi permukaan air antara lokasi pipa dan tempat di sekeliling pipa tersebut cukup besar untuk menaikkan air keluar melalui pipa dengan laju sesuai dengan kekuatan pompa yang digunakan. Dengan demikian, pemanfaatana air tanah lebih leluasa dari pada air permukaan terutama saat musim kemarau berlangsung. Hal ini menjadi salah satu faktor pendukung besarnya pemanfaatan air tanah oleh industri dan atau permukaan.

Dengan meningkat kebutuhan air, baik untuk keperluan industri, pertanian dan kebutuhan rumah tangga. Hal ini juga berkaitan juga dengan penyebaran *E.coli* dalam air sumur.

2. Drainase air tanah

Sistem pembuangan air tanah yang sering digunakan adalah dua saluran pembuang air berpenutup yang sejajar ditempatkan dalam tanah. Apabila penutup saluran tersebut dibuka, menyebabkan permukaan air tanah turun. Dalam kasus ini, saluran pembuang air tersebut dapat disamakan fungsinya dengan sungai di daerah tangkapan air yang sebagian wilayahnya terdiri atas hutan dengan kemiringan lereng terjal.

2.5 Metode pengambilan air tanah

Cara pengambilan air tanah yang disukai yang paling tua dan sederhana adalah dengan menggali tanah untuk membuat sumur dengan kedalaman lebih rendah dari tinggi muka air tanah.

Cara lain yang lebih sederhana dalam usaha pengambilan air tanah adalah dengan membuat saluran air terbuka (*ditches*). Keuntungan yang dapat diperoleh adalah bahwa saluran air tersebut dapat menampung air tanah dalam jumlah besar. Tetapi karena terbuka, maka air tanah tersebut mudah terkontaminasi sehingga kurang memadai untuk kebutuhan hidup manusia.

Ada cara lain yang lebih rumit dan mahal, yaitu bidang penampung air infiltrasi (*infiltration drains*) dan saluran air bawah tanah (*tunnels*). Keuntungan cara pengambilan air tanah ini adalah karena terletak di bawah permukaan tanah, maka air yang dialirkan mempunyai kemungkinan kecil untuk terkontaminasi dari berbagai sumber pencemar di atas permukaan tanah.

Cara pengambilan air tanah yang banyak dilakukan terutama di kawasan industri adalah dengan membuat sumur dalam yang lazimnya terbuat dari pipa. Sumur dalam ini dapat dikatakan berperan sebagai bak penampungan air tanah, sehingga besarnya air tanah yang diambil akan ditentukan oleh laju pengambilan atau penyedotan air tanah. Sumur dalam biasanya dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Sumur dalam besar
Sumur dalam besar tingkat pengambilan air tanah dapat mencapai 100 lt/dt atau lebih
2. Sumur dalam kecil
Sumur dalam kecil tingkat pengambilan air tanah kurang lebih 1 lt/dt.

2.6 Konstruksi Sumur

“Sumur dangkal” banyak digunakan pada kawasan pedesaan, dan perkotaan yang belum memiliki pipa air ledeng. Oleh karena itu, sebagai lubang buatan manusia kedalam tanah untuk menyadap air, maka lubang tersebut dapat dibuat dengan berbagai cara yang semudah mungkin, tergantung pada kondisi setempat. Mengingat cara pembuatannya, dapat dikategorikan dua macam sumur dangkal, yaitu “sumur gali” dan “sumur pantek”.

Karena dipergunakan untuk keperluan keluarga (domestik), maka konstruksinya harus sederhana, tidak memerlukan peralatan yang canggih, murah dan cepat. Disamping itu, diperlukan juga kedalaman yang cukup, ruang penampungan air yang memadai, dan perlindungan terhadap pencemaran, aman dari anak-anak, dan tidak mudah tersumbat pori tanahnya sehingga aliran air bias berhenti total.

2.6.1 Sumur Gali

Sumur gali memiliki diameter yang relative besar (lebih kurang 1 meter), tetapi dangkal (kurang dari 20 meter), khususnya untuk menyadap air tanah pada akuifer tak terkekang yang letaknya didekat permukaan tanah. Bentuk dan ukuran sumur gali yang sedemikian ini, dimaksudkan agar :

1. Mengurangi partikel butiran tanah yang masuk ke dalam sumur
2. Meningkatkan kapasitas wadah penyimpanan air

Di dalam membuat sumur gali, perlu diperhatikan hal-hal berikut ini:

1. Cegah terjadinya longsoran
2. Waspada terhadap gas beracun
3. Sedapat mungkin pakailah alat berat

Konstruksi dinding sumur dapat dibuat dari kayu, pasangan batu/bata, maupun pipa beton, asalkan memenuhi persyaratan sebagai berikut ini:

1. Kuat menahan beban tanah horizontal
2. Tidak 'ambles' karena pondasinya sangat lemah
3. Lubang perforasi dinding cukup besar untuk jalan rembesan air ke dalam sumur
4. Dinding khusus dari "buis beton pracetak" harus kuat menahan "tekanan tanah aktif"

Meskipun demikian, pencemaran terhadap sumur gali masih banyak terjadi dan sukar dihindari selama air limbah masih di resapkan begitu saja ke dalam tanah. Sumur gali relatif mahal ongkos pembuatannya karena tidak sebanding dengan kuantitas dan kualitas air tanah yang diperoleh. Belakangan ini sumur gali sudah banyak ditinggalkan orang, kecuali pada kawasan pedesaanan dan pinggiran kota, dimana lahan kosong masih banyak tersedia dan sambungan air ledeng belum ada (Hindarko.S, 2002).

2.6.2 Sumur Pantek

Pada komplek perumahan baru dan real estat, "sumur pantek" dipilih sebagai pengganti sumur gali, karena lebih mudah dan murah pembuatannya. Sumur ini tidak makan tempat dan tidak perlu dikuras serta disikat dindingnya seperti sumur gali. Pembuatannya dimulai dengan memasukkan pipa ke dalam tanah, pipa ini sudah dilengkapi dengan saringan sumur yang bagian bawahnya dilindungi dengan logam keras berbentuk kerucut supaya tidak rusak terbentur batu.

Sumur pantek memiliki kelemahan, antara lain sebagai berikut:

1. Tidak dapat menembus tanah keras
2. Tidak bisa dimasuki pompa submersible

3. Slot saringan sering tertutup tanah ketika dipancang
4. Perlu peralatan khusus yaitu bor Auger, untuk lapisan tanah kohesif, atau formasi yang berbatu dan berpasir
5. Kehilangan kesempatan mendapatkan contoh tanah, karena tidak dihasilkannya contoh tanah untuk di analisa

Meskipun sumur pantek memiliki kekurangan seperti tersebut diatas, tetapi karena pembuatannya relatif mudah, dan tidak memerlukan peralatan berat, maka sumur itu banyak dipakai dimana-mana. Khususnya untuk sumur darurat dan sementara. Setelah tidak dibutuhkan lagi, dapat dicabut dan dipindahkan di tempat yang baru. Disamping itu, sumur pantek lebih terlindungi letaknya bila dibandingkan dengan sumur gali, sehingga pencemaran yang dialaminya relatif lebih kecil intensitasnya (Hindarko.S, 2002).

2.7 Air Sebagai Media Penularan Penyakit

Menurut H.Akhmad. 1997. Selain fungsinya yang sangat penting bagi kehidupan umat manusia, air berperan juga didalam penularan berbagai penyakit melalui beberapa cara, antara lain:

1. *Water Born Mechanism*

Bibit penyakit berada dalam air, apabila air tersebut langsung diminum oleh seseorang, maka orang tersebut dapat menderita sakit. Penyakit-penyakit yang menular dengan cara ini antara lain penyakit *cholera*, *typhoid fever*, *dysentri basiler* dan lain-lain.

2. *Water Washed Mechanism*

Air yang mengandung bibit penyakit, apabila kontak dengan tubuh manusia dapat menimbulkan gangguan penyakit, antara lain penyakit infeksi kulit dan mata. Timbulnya penyakit ini karena kurangnya penyediaan air bersih dan rendahnya tingkat kebersihan perorangan.

3. *Water Based Mechanism*

Penularan penyakit melalui *intermediate host*, misalnya ikan dan keong. Penyakit yang ditularkan melalui cara ini misalnya *schistosoma* yang mempunyai *intermediate host* keong yang hidup dalam air.

2.8 *Escherichia Coli (E.coli)*

Dalam bidang mikrobiologi pangan dikenal istilah bakteri indikator sanitasi. Dalam hal ini, pengertian pangan adalah pangan seperti yang tercantum pada Undang-Undang Pangan Nomor 7 Tahun 1996 yang mencakup makanan dan minuman (termasuk air minum). Bakteri indikator sanitasi adalah bakteri yang keberadaannya dalam pangan menunjukkan bahwa air atau makanan tersebut pernah tercemar.

Berbagai mikrobia patogen seringkali ditularkan melalui air yang tercemar sehingga dapat menimbulkan penyakit pada manusia maupun hewan. Mikrobiologi ini biasanya terdapat dalam saluran pencernaan dan mencemari air melalui tinja. Mikrobia asal tinja yang sering menyebabkan penyakit yang ditularkan melalui air (*water-borne disease*) mencakup *Salmonella typhi*, *Shigella spp*, *Salmonella paratyphi* dan *Vibrio cholerae*. Disentri yang disebabkan oleh *Campylobacter jejuni* dan *Escherichia Coli* dapat pula ditularkan melalui air (Lay, 1995).

Beberapa spesies atau kelompok bakteri dapat digunakan sebagai organisme indikator (Michael J. Peleczhar, 1998). Beberapa ciri penting suatu organisme indikator adalah :

1. Terdapat dalam air tercemar dan tidak ada dalam air tidak tercemar
2. Terdapat dalam air bila ada patogen
3. Jumlah organisme indikator berkorelasi dengan kadar polusi
4. Mempunyai kemampuan bertahan hidup yang lebih besar daripada patogen
5. Mempunyai sifat seragam dan mantap
6. Tidak berbahaya bagi manusia dan hewan
7. Terdapat dalam jumlah yang lebih banyak daripada patogen
8. Mudah dideteksi dengan teknik - teknik laboratorium sederhana

Organisme ini disebut juga bakteri indikator. Bakteri-bakteri ini apabila ditemukan didalam sampel air maka air tersebut mengandung bakteri patogen, sebaliknya sampel air yang tidak mengandung bakteri ini berarti tidak ada pencemaran oleh tinja manusia dan hewan, ini menunjukkan bahwa air bebas dari bakteri patogen.

Escherichia Coli (E.coli) adalah salah satu bakteri yang tergolong *Colliform*. Air minum tidak boleh terlalu banyak mengandung bakteri, karena akan mengganggu kesehatan, oleh karena itu diperlukan pemeriksaan kualitas air dengan menggunakan *Escherichia Coli (E. coli)* sebagai indikator (Lay, 1995).

Untuk mengetahui keberadaan dari bakteri dalam air sampel dilakukan dengan:

1. Analisa Kuantitatif

Bakteri tidak dapat dihitung secara tepat dengan pemeriksaan mikroskopik kecuali bila sekurang-kurangnya ada 100 juta sel untuk tiap ml air. Air di alam jarang mengandung 10^5 sel untuk tiap ml air.

2. Analisa Kualitatif

Metode pembiakan lempeng dan biakan yang diperkaya digunakan untuk mendapatkan gambaran populasi bakteri dalam air. Analisa ini meliputi penemuan-penemuan bakteri fecal dalam air, bakteri fecal menandakan adanya populasi tinja dan timbulnya bahaya penyebaran penyakit yang berhubungan dengan pencernaan/usus halus.

2.9 Total *Coliform*

Keragaman mikroba yang dapat menimbulkan penyakit ini menyebabkan para ahli mencari indikator untuk menunjukkan adanya mikroba patogen sehingga dapat diketahui kualitas mikrobiologi atau sanitasi air. Sebagai indikator banyak digunakan kelompok *coliform*, meskipun dapat digunakan indikator lainnya.

Yang dimaksud golongan *coliform* adalah bakteri batang *Gram negatif*, tidak membentuk spora, dan fakultatif anaerobik, tumbuh dengan adanya garam empedu, dan memfermentasikan laktosa dengan menghasilkan asam dan gas pada suhu 37°C , oksidase negatif (Lay, 1995).

Mikroorganisme indikator menurut sejarah digunakan untuk menunjukkan kemunculan patogen dalam air. Untuk tujuan analisis, total koliform digunakan sebagai indikator kualitas mikrobiologi.

Dalam penelitian ini parameter biologis lebih diutamakan karena kebanyakan penyakit menular disebabkan oleh mikroorganisme yang terdapat dalam air. Untuk jenis bakteri yang diambil sebagai indikator penelitian adalah *E. coli* dan *Total Coliform*, karena *E.coli* merupakan indikator bagi kelompok bakteri

patogen lainnya, selain itu bakteri ini yang paling ekonomis tidak berbahaya bila mengalami pengolahan terlebih dahulu (Soeparman. Suparmin, 2002).

Dalam pemeriksaan bakteriologis pada air baku dan air minum hanya untuk mengetahui adanya indikator bakteri *E. coli* dan Total *Coliform*, termasuk juga pada pengujian pada air minum isi ulang yang mengambil dari sumur dengan proses awal (Aziz, 2004).

Hampir disetiap badan air, dalam tanah, pada tumbuh-tumbuhan, kulit manusia dan hewan, serta dalam sistem pencernaan manusia dan hewan berdarah panas, terdapat jenis-jenis bakteri tertentu. Ada ribuan jenis bakteri dan setiap jenis mempunyai sifat-sifat sendiri. Sebahagian besar dari jenis bakteri tersebut tidak berbahaya bagi manusia, bahkan ada yang sempat bermanfaat bagi kehidupan manusia seperti bakteri pencernaan dan ada pula yang mempunyai peranan penting dalam lingkungan hidup kita (Hammer, 1977)

Organisme-organisme tersebut tumbuh dalam suasana yang cocok bagi dirinya yaitu usus manusia dan hewan berdarah panas. Namun bila tinja seseorang yang sakit mengandung bakteri tersebut masuk ke badan air, maka bakteri-bakteri tersebut tetap hidup selama beberapa hari sebelum mati. Bila air tersebut diminum oleh manusia maka bakteri patogen masuk sekali lagi ke dalam usus manusia dan akan berkembang biak sehingga dapat menyebabkan penyakit. Jadi air disini berfungsi sebagai pembawa penyakit (Soeparman, suparmin, 2002).

Mikroorganisme tersebut dapat berupa bakteri, virus, *protozoa*, ataupun cacing-cacing parasit. *Coliform bacteria* yang dikenal sebagai *Escherichia coli* dan *fecal streptococci (enterococci)* yang sering terdapat pada hewan-hewan berdarah panas dalam jumlah besar rata-rata sekitar 50 juta per gram tinjanya (Hammer, 1977).

Organisme ini merupakan organisme indikator yang meliputi *Escherichia coli* yang berasal dari saluran pencernaan makanan binatang berdarah panas. Adanya

organisme *Coliform* menunjukkan kemungkinan adanya patogen, baik virus ataupun bakteri (Soeparman, suparmin, 2002).

E.coli adalah bakteri yang berbentuk batang gram negatif yang dapat membentuk spora. Pada umumnya tidak dapat memproduksi H₂S, tetapi beberapa strain mendapatkan plasmid dari salmonella sehingga mampu memproduksi gas H₂S. Sporanya mudah dirusak oleh panas, germisida dan disinfektan pada konsentrasi rendah. Ada tiga jenis antigen yaitu: O, H, dan K. Mempunyai sejumlah *fimbriae* atau *pili* sebagai alat melekat pada *host*. Bakteri ini biasanya dapat menyebabkan penyakit diare.

Bakteri golongan Coli ini berasal dari usus besar (*faeces*) dan tanah. Bakteri pathogen yang mungkin ada dalam air antara lain adalah :

- a. *Bakteri typhsum*.
- b. *Vibrio colerae*.
- c. *Bakteri dysentriae*.
- d. *Entamoeba hystolotica*.
- e. *Bakteri enteritis* (penyakit perut).

Air yang mengandung golongan Coli dianggap telah berkontaminasi dengan kotoran manusia. Dengan demikian dalam pemeriksaan bakteriologik, tidak langsung diperiksa apakah air itu telah mengandung bakteri pathogen, tetapi diperiksa dengan indikator bakteri golongan Coli (Sutrisno, 1996).

Penentuan kualitas mikrobiologis sumber air dilatarbelakangi dasar pemikiran bahwa air tersebut tidak akan membahayakan kesehatan si peminum. Dan dalam konteks ini maka penentuan kualitas mikrobiologis air didasarkan terhadap analisis kehadiran jasad indicator yang selalu ditemukan dalam tinja manusia/hewan berdarah panas baik yang sehat maupun tidak. Jasad ini tinggal dalam usus manusia/hewan berdarah panas dan merupakan suatu bakteri yang dikenal dengan nama bakteri *Coliform*. Bila dalam sumber air ditemukan bakteri *Coliform* ini

maka hal ini merupakan indikasi bahwa sumber tersebut telah mengalami pencemaran oleh kotoran manusia/hewan berdarah panas (Suriawiria, 1996).

Golongan bakteri Coli, merupakan jasad indikator di dalam substrat air, bahan-makanan, dan sebagainya untuk kehadiran jasad berbahaya, yang mempunyai persamaan sifat, gram negatif berbentuk batang, tidak membentuk spora dan mampu memfermentasikan kaldu laktosa pada temperatur 37°C dengan membentuk asam dan gas di dalam waktu 48 jam (Suriawiria, 1996).

Escherichia sebagai salah satu contoh terkenal mempunyai beberapa spesies hidup di dalam saluran pencernaan makanan manusia dan hewan berdarah panas. *Escherichia coli* misalnya mula-mula diisolasi oleh *Escherich* pada tahun 1885 dari tinja bayi. Sejak diketahui bahwa jasad tersebut tersebar pada semua individu, maka analisis bakteriologi air minum ditujukan kepada kehadiran jasad tersebut. Walaupun adanya jasad tersebut tidak dapat memastikan adanya jasad *pathogen* secara langsung, tetapi dari hasil yang diperoleh (Suriawiria, 1996).

Pemakaian bakteri *coliform* ini dalam analisis bakteriologi air minum didasarkan pertimbangan-pertimbangan antara lain :

- a) Bakteri *coliform* banyak terdapat dalam kotoran manusia (*binatang berdarah panas*).
- b) Terdapat dalam jumlah yang sangat banyak dan mudah cara mengidentifikasinya.
- c) Lebih tahan hidup di udara terbuka, agak lama dibandingkan dengan kuman-kuman patogen.

Dengan terdapatnya bakteri Coli dalam air maka air tersebut mengandung kuman berbahaya, tetapi hanya menunjukkan bahwa air tersebut baru saja terkontaminasi oleh kotoran dan perlu diolah terlebih dahulu jika akan di konsumsi.

2.9.1 Pemeriksaan Bakteri Coliform

Pemeriksaan kuman golongan Coli (*coliform bakteri*) dapat dilakukan sebagai berikut :

1) *The Multiple Tube Fermentation Technique.*

Ada tiga tahap pemeriksaan yaitu *presumptive test*, *confirm test* dan *completed test*.

a. *Presumptive test* (test pendugaan) :

Presumptive test didasarkan atas kenyataan bahwa *Coliform bakteri* dapat meragikan laktose dengan membentuk gas. Kedalam tabung laktose yang didalamnya terdapat medium laktose dan tabung Durham yang terbalik dituangkan contoh air yang akan diperiksa. Kemudian dieramkan selama 2 x 24 jam pada temperatur $35^{\circ} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Jika dalam waktu 2 x 24 jam terbentuk gas pada tabung Durham, maka *presumptive test* dinyatakan positif yang berarti air yang diperiksa tersebut diduga mengandung *Coliform bakteri*. Sebaliknya bila tidak terbentuk gas dinyatakan *presumptive test* negatif yang berarti air tidak mengandung *Coliform*. Jika terjadi *presumptive test* positif, maka dilanjutkan dengan *confirm test* untuk memastikan adanya *Coliform* di dalam contoh air tersebut.

b. *Confirm test* (tes penegasan) :

Pada *Confirm test* menggunakan medium : “*Brilliant Green Laktose Bile Broth (BGLB)*”, “*Eosin Metylene Blue Agar (EMB)*” atau Endo Agar.

Semua contoh air dari *presumptive test* positif dipindahkan ke dalam tabung yang berisi BGLB atau digeserkan ke dalam cawan Petri berisi EMB atau Endo agar. Jika dalam tabung BGLB ternyata terdapat gas setelah dieramkan selama 2 x 24 jam pada temperatur $35^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, maka *confirmed test* dinyatakan positif. Demikian pula bila di dalam medium EMB atau Endo

agar terdapat koloni yang tersangka, setelah dieramkan selama 24 jam pada $35^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ maka test disebut positif.

c. *Completed test* (test lengkap) :

Pada *completed test* digunakan medium : EMB endo agar dan laktose builyon serta agar miring. Semua contoh air dari *confirmed test* positif dilanjutkan dengan *completed test*. Contoh air dari *confirmed test* dengan BGLB digeserkan di atas EMB atau Endo agar, kemudian dieramkan pada $35^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam. Dicari koloni *Coliform bakteri* dalam setiap lempeng. Jika ditemukan

koloni tersangka, maka dipindahkan ke *laktose builyon* dan agar miring, kemudian dieramkan pada $35^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam atau 48 jam. Dari agar miring dibuat sediaan dan dicat menurut gram untuk melihat adanya spora. *Completed test* dinyatakan positif bila terbentuk gas dalam medium laktose dan bersifat gram negatif serta tidak membentuk spora. Jika di dalam medium laktose tidak terbentuk gas dalam waktu 48 jam, test dinyatakan negatif. Demikian pula apabila tidak ada koloni yang tersangka pada EMB atau Endo agar, dinyatakan test negatif.

Khusus untuk pemeriksaan kuman golongan Coli yang berasal dari tinja (*fecal Coliform*) dilakukan sebagai berikut :

Suhu inkubasi dinaikkan untuk memisahkan kuman golongan Coli yang berasal dari tinja (*fecal Coliform*) dengan kuman golongan Coli yang tidak berasal dari tinja (*non fecal Coliform*). Semua tabung dari test perkiraan (*presumptive test*) yang positif dipindahkan ke dalam tabung-tabung yang berisi medium *Boric Acid Laktose Broth* (BALB) yang telah dipanaskan terlebih dahulu, kemudian diinkubasikan pada suhu $43^{\circ} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ selama 48 ± 3 jam. Jika dalam waktu 48 ± 3 jam terbentuk gas dalam tabung peragian,

dinyatakan positif dan menunjukkan adanya kuman golongan Coli tinja (*fecal Coliform*) dalam contoh air yang diperiksa.

Hasil pemeriksaan kuman golongan Coli (*Coliform*) dengan cara *multiple tube fermentation technique* dinyatakan dengan index MPN (*Most Probable Number*) yaitu perkiraan terdekat jumlah kuman golongan Coli. Index MPN merupakan index dari jumlah golongan Coli yang paling mungkin, yang berarti bukan perhitungan yang sebenarnya.

2) Dengan cara "*the membrane method*".

Cara *membrane method* dikembangkan oleh Jerman selama Perang Dunia kedua. Contoh air yang diperiksa disaring melalui cawan yang di dalamnya terdapat saringan (*membran saringan*). Setelah penyaringan, membran saringan diletakkan terbalik di atas absorbent yang berisi medium Endo dengan konsentrasi tinggi, kemudian diinkubasikan selama 20 jam pada suhu $35^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Apabila tumbuh koloni dengan ciri-ciri warna gelap, jingga, mempunyai kilat logam, maka dapat dipertimbangkan bahwa koloni tersebut berasal dari kuman golongan Coli. Jumlah koloni dihitung sehingga dapat diperiksa jumlah kuman golongan Coli per 100 ml contoh air (*Sanropie, 1984*).

2.9.2 Bakteri *Coliform* di dalam Lingkungan

Coliform air digunakan sebagai indikator kelompok mikrobiologis. Hal ini tentunya tidak terlalu tepat, tetapi sampai saat ini, bakteri inilah yang paling ekonomis dapat digunakan untuk kepentingan tersebut. Suatu bakteri dapat dijadikan indikator bagi kelompok lain yang patogen didasarkan atas beberapa hal sebagai berikut:

- a) Bukan bakteri patogen,
- b) Harus berada di air apabila kuman patogen juga ada atau mungkin sekali ada, dan dalam jumlah yang jauh lebih besar,

- c) Jumlah kuman indikator harus dapat dikorelasikan dengan probabilitas adanya kuman patogen,
- d) Mudah dan cepat dapat dikenali dan dengan cara *laboratorism* yang murah,
- e) Harus dapat dikuantifikasikan dalam *test laboratorism*.
- f) Harus tidak berkembang biak apabila kuman patogen tidak berkembang biak,
- g) Dapat bertahan lebih lama dari pada kuman patogen di dalam lingkungan yang tidak menguntungkan (misalnya di dalam air minum yang *dichlorinasi*).

Namun demikian didapat berbagai kelemahan pada bakteri *Coliform* yang mungkin sekali perlu diubah di kemudian hari:

- a) Ia tidak sepenuhnya apatogen. Beberapa *type* dapat menyebabkan disentri pada bayi.
- b) Tidak semua *Coliform* bakteri berasal dari usus manusia, ia dapat juga berasal dari hewan dan bahkan ada yang hidup bebas, karenanya ada test lanjut yang memeriksakan *Escherichia coli* yang pasti berasal dari tinja.
- c) Tidak sepenuhnya mewakili virus, karena *Coliform* musnah lebih dahulu oleh *khlor*, sedangkan virus tidak. *Kista amoeba* dan telur cacing juga tahan lebih lama di dalam saluran air bersih dibandingkan dengan bakteri *Coliform*.
- d) Akhirnya bakteri *Coliform* dapat berkembang biak dalam air sekalipun secara terbatas.

Untuk membuat air agar aman diminum, tidak hanya tergantung pada pemeriksaan mikrobiologis, tetapi biasanya ditinjau juga oleh pemeriksaan residu *khlor* misalnya.

Pengendalian penyakit bawaan tidak hanya melalui media air, karena pada hakekatnya tidak cukup hanya dengan fasilitas air minum yang sehat, karena:

1. Air bersih perlu diperlakukan dengan bersih pula oleh para pemanfaat, sehingga insidensi penyakit bawaan dapat berkurang,
2. *Higiene* perseorangan juga ikut menentukan insidensi penyakit bawaan air,
3. Penyakit bawaan air tidak saja penyakit yang disebabkan kita minum atau menekan penyebabnya, tetapi juga termasuk penyakit-penyakit sebagai berikut:
 - (a) Penyakit yang disebarkan oleh insekta yang bersarang di air seperti malaria, *Elephantiasis*, dan lain-lain.
 - (b) Penyakit yang disebabkan kurangnya air bersih untuk mandi, cuci, dan lainnya; seperti *Scabies* dan *trachoma*,
 - (c) Penyakit yang penyebabnya hidup di air, seperti *Schistosomiasts*.

Dengan demikian, tidak hanya kualitas, tetapi kuantitas dan keterpaduan dalam pengolahan sumber daya air menjadi sangat penting dalam memberantas penyakit bawaan air.

Mikroba patogen memiliki daya tahan yang berbeda-beda tergantung pada kondisi lingkungan

Tabel 2.2 Daya Tahan Mikroba Patogen di dalam Lingkungan

Mikroba Pathogen	Lumpur Tinja	Air Buangan / Air Bersih	Tanah
Virus			
Entrovirus	<20 hari	<50 hari	<20 hari
Bakteri			
<i>Coliform tinja</i>	<50 hari	<30 hari	<20 hari
<i>Salmonella sp</i>	<30 hari	<30 hari	<20 hari
<i>Shigella sp.</i>	<10 hari	<10 hari	Tak tentu
<i>Vibrio cholerae</i>	<5 hari	<10 hari	<10 hari
Protozoa			
<i>E. Histolytica</i>	<15 hari	<15 hari	<10 hari
Metazoa			
<i>A. Lumbricoidas</i>	Bulanan	Bulanan	Bulanan

Sumber: Juli Soemirat Slamet, Kesehatan Lingkungan, 1994

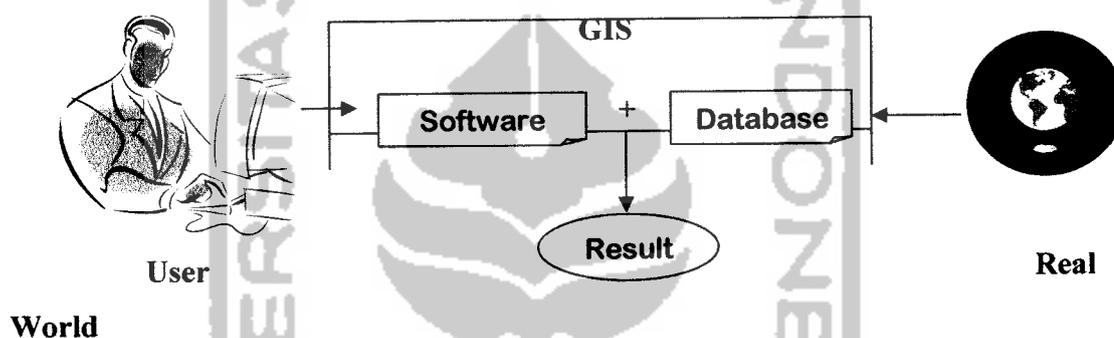
Menurut *Caldwell and Parr, 1990*. Pada prinsipnya penyebaran mikroorganisme dan bahan *Chemist* terhadap air tanah dari suatu tempat ke tempat lain di sekitarnya badan air pencemar, sebagai berikut :

1. Penyebaran kuman-kuman dalam tanah hanya mampu seluas 11 meter (5+6 m), oleh karenanya jarak antara sumber air (sumur) dengan kakus harus minimal 12 meter.
2. Bahkan dengan *direct contact* melalui *groundwater* yang baik, maka jangkauan penyebaran maksimum dari *E. coli* selama, pengamatan dapat mencapai 1,52 ; 3,05 dan 10,7 meter.
3. Bila ekstreta (penyatuaan) dalam sumur itu membeku karena tidak memperoleh air atau tidak bercampur air, maka *biochemical action* dan penyebaran dari kuman-kuman berkurang.
4. Untuk kakus-kakus yang tidak berhubungan dengan *groundwater*, didapatkan hasil-hasil pengamatan sebagai berikut:
 - a. Bahwa *E. coli* tidak akan pernah mencapai 1,52 meter daripada sekitarnya
 - b. Bila permukaan air tanah berada 3,66 – 4,57 meter dibawah dasar kakus, maka kemampuan penyebaran *E. coli* hanya 0,305 meter secara lateral kesekitarnya dari kakus.

Berdasarkan pernyataan diatas penyebaran bahan kimia yang jauh dari kuman \pm 25 meter. Dengan catatan kesemuanya itu diasumsikan bahwa kecepatan air tanah adalah 1-3 meter/hari.

2.10 Sistem Informasi Geografi (SIG)

Penggunaan Sistem Informasi Geografi (SIG) meningkat tajam sejak tahun 1980-an. Peningkatan pemakaian system ini terjadi di kalangan pemerintahan, militer, akademis atau bisnis terutama di negara-negara maju. Perkembangan teknologi digital sangat besar peranannya dalam perkembangan penggunaan SIG dalam berbagai bidang. Hal ini dikarenakan teknologi SIG banyak mendasarkan pada teknologi digital ini sebagai alat analisis.



Gambar 2.2 Pola keterkaitan GIS

Seperti tergambar dari namanya, SIG merupakan sebuah sistem yang saling berangkaian satu dengan yang lain. BAKOSURTANAL menjabarkan SIG sebagai kumpulan yang terorganisir dari perangkat keras komputer, perangkat lunak, data geografi, dan personel yang didesain untuk memperoleh, menyimpan, memperbaiki, memanipulasi, menganalisis, dan menampilkan semua bentuk informasi yang berreferensi geografi. Dengan demikian, basis analisis dari SIG adalah data spasial dalam bentuk digital yang diperoleh melalui data satelit atau data lain terdigitasi. Analisa SIG memerlukan tenaga ahli sebagai interpreter, perangkat keras komputer dan software pendukung (Budiyanto.E, 2002).

Dalam SIG terdapat berbagai peran dari berbagai unsur, baik manusia sebagai ahli dan sekaligus operator, perangkat alat (lunak/keras) maupun objek permasalahan. SIG adalah sebuah rangkaian sistem yang memanfaatkan teknologi digital untuk melakukan analisis spasial. Sistem ini memanfaatkan perangkat keras dan lunak komputer untuk melakukan pengolahan data seperti:

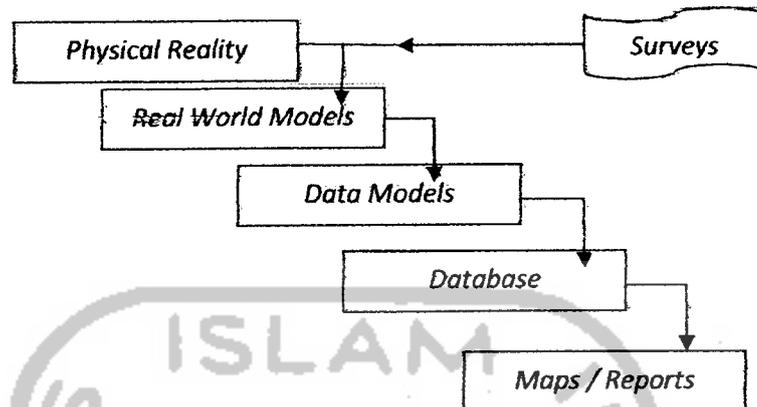
1. Perolehan dan verifikasi
2. Kompilasi
3. Penyimpanan
4. Pembaruan dan perubahan
5. Manajemen dan pertukaran
6. Manipulasi
7. Penyajian
8. Analisis (Tor Bernhardsen, 1992: 3)

Pemanfaatan SIG secara terpadu dalam sistem pengolahan citra digital adalah untuk memperbaiki hasil klarifikasi. Dengan demikian, peranan teknologi GIS dapat diterapkan pada operasionalisasi penginderaan jauh satelit.

Mengingat sumber data sebagian besar berasal dari data penginderaan jauh baik satelit maupun terrestrial terdigitasi, maka teknologi Sistem Informasi Geografi (GIS) erat kaitannya dengan teknologi penginderaan jauh. Namun demikian, penginderaan jauh bukanlah satu-satunya ilmu pendukung bagi sistem ini.

Sumber data lain berasal dari hasil *survey terrestrial* (uji lapangan) dan data-data sekunder lain seperti sensus, catatan dan laporan yang terpercaya.

Secara diagram hal tersebut dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.3. Sistem Kerja SIG

Data spasial dari penginderaan jauh dan survei terestrial tersimpan dalam basis data yang memanfaatkan teknologi komputer digital untuk pengelolaan dan pengambilan keputusannya.

Secara teknis SIG mengorganisasikan dan memanfaatkan data dari peta digital yang tersimpan dalam basis data. Dalam SIG, dunia nyata dijabarkan dalam data peta digital yang menggambarkan posisi dari ruang (*space*) dan klasifikasi, atribut data, dan hubungan antar item data. Kerincian data dalam SIG ditentukan oleh besarnya satuan pemetaan terkecil yang dihimpun dalam basis data. Dalam bahasa pemetaan kerincian ini tergantung dari skala peta dan dasar acuan geografis yang disebut sebagai peta dasar (Budiman.Ir, 1999:4).

Dari dunia nyata diambil tiga hal penting seperti diuraikan diatas, yaitu posisi dan klasifikasi, atribut, serta hubungan antar item tersebut. Ketiga hal tersebut diolah sebagai dasar analisa system spasial dalam SIG.

Prinsip pengolahan data dalam SIG secara sederhana dapat digambarkan dengan sebuah cara *overlay* beberapa peta berwarna yang digambarkan pada kertas

transparansi diatas sebuah *overhead projector* (OHP). Dalam pengolahan digital SIG, masing-masing satuan pemetaan memiliki bobot tertentu. Pembobotan ini dilakukan dengan *scoring*.

Sistem Informasi Geografis ini di gunakan untuk menentukan arah aliran air tanah dan sebagai media peletakan titik sampling dari GPS pada peta topografi. Sehingga akan didapatkan lokasi titik yang akurat serta mengetahui arah penyebaran bakteri *E.coli*. selain itu penggunaan *system surfer* digunakan untuk pembuatan kontur tanah pada lokasi sampling.

