

# HIDROGEOLOGI DASAR



*H*

MILIK PERPUSTAKAAN IKIP PADANG	
DITERIMA TGL. :	18-11-1998
SUMBER / HARGA :	H / 1
KOLEKSI :	K
NO. INVENTARIS :	1107/K/98-602/
KLASIFIKASI :	553:79 Edisi 1 (D)

O l e h

*Drs. Helfia Edial, M.T*

JURUSAN PENDIDIKAN GEOGRAFI  
FAKULTAS PENDIDIKAN ILMU PENGETAHUAN SOSIAL  
IKIP PADANG 1998.

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan rasa syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena dengan izin dan rahmatNya jualan penulis telah dapat menulis buku dengan judul "HIDROGEOLOGI DASAR".

Adapun materi yang dibahas dalam buku ini adalah : Sejarah Dan Perkembangan Air Tanah, Air Tanah, Pemunculan Air Tanah dan Kualitas Airtanah.

Tujuan penulisan buku ini adalah dalam rangka untuk menambah perbendaharaan buku-buku yang berhubungan dengan Hidrogeologi yang dirasakan sangat terbatas jumlahnya. Setelah selesainya buku ini hendaknya dapat memberikan sumbangan yang berarti terutama bagi penulis dan juga para pembacanya.

Selanjutnya penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada rekan-rekan sejawat yang telah mendorong dan memberi saran-saran bagi penulis untuk segera menyelesaikan tulisan ini.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dan kesalahan dalam tulisan ini, walaupun demikian penulis telah berusaha semaksimal mungkin dengan kemampuan yang ada untuk mewujutkan buku ini. Untuk itu harapan penulis mudah-mudahan tulisan yang sederhana ini dapat hendaknya memberikan manfaat bagi kita semuanya.

Akhirnya atas bantuan dan sumbangan pikiran dari berbagai pihak atas selesainya buku ini penulis aturkan banyak terima kasih.

Padang, September 1998



## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
<b>BAB I SEJARAH DAN PERKEMBANGAN AIRTANAH</b>	
A. Perkembangan Dan Pengertian	1
B. Perkembangan Teori Airtanah	2
C. Perkembangan Hidrogeologi Modern	6
D. Perkembangan Di Indonesia	8
<b>BAB II AIRTANAH</b>	
A. Asal Airtanah	13
B. Sifat Batuan Terhadap Airtanah	14
C. Kesarangan (Porositas)	17
<b>BAB III PEMUNCULAN AIRTANAH</b>	
A. Definisi	31
B. Klasifikasi Mata Air	31
<b>BAB IV ALIRAN AIRTANAH</b>	
A. Macam Aliran Airtanah	37
B. Percobaan Darcy	37
C. Persamaan Kontinuitas	39
D. Sifat Batuan Sebagai Media Aliran Airtanah	44
<b>BAB V KUALITAS AIRTANAH</b>	
A. Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Kualitas Airtanah	53
B. Sifat Fisis, Khemis dan Biologis Airtanah	56
C. Kualitas Airtanah di Beberapa macam Batuan	61
D. Interpretasi Geologi Dari Data Kualitas Airtanah	64
E. Standar Kualitas Airtanah Berdasarkan Atas Kegunaannya	68
<b>DAFTAR BACAAN</b>	72

## **BAB I. SEJARAH DAN PERKEMBANGAN AIRTANAH**

### **A. Perkembangan Dan Pengertian**

Beberapa puluh tahun yang silam istilah "Hidrogeologi" telah dipakai oleh orang-orang Belgia dan Perancis, sedangkan para ahli dari Amerika Latin menggunakan "istilah Hidrogeologia". Istilah Hidrogeologi pertama sekali digunakan oleh Lamarck (Perancis) pada tahun 1802, Istilah tersebut identik dengan "Hidriogeologi" yang dikemukakan oleh Powel yang didefinisikan sebagai studi fenomena dari degradasi (erosi) dan pengendapan oleh air. Lucas (1879) pertama menggunakan istilah "Hidrogeology" sebagai studi geologi mengenai air bawah tanah (Under Ground Water). Mead (1919) pada buku "Hidrology" klasiknya mendefinisikan hidrogeologi sebagai studi tentang hukum-hukum terjadinya gerakan airtanah (subteranian water). Mead menitik beratkan sifat khusus dari studi airtanah sebagai "agen geologi" (Suharyadi, 1984).

Orang-orang Jerman menyatakan bahwa studi airtanah merupakan bagian dari "hidrogeologi" sepertihalnya studi "hydrography", "Hydrometri" yang mempelajari air permukaan demikian pula di Amerika Serikat. Pada tahun 1938, komite eksekutif IASH (International Association of Scientific Hydrologi) menggunakan istilah underground waters (air bawah tanah) yang merupakan cabang dari hydrology, sepertihalnya "potamology" yang mempelajari aliran air permukaan, "Limnology" yang mempelajari tubuh air permukaan "cryology" mempelajari es dan salju.

Meinzer yang pertama sekali menyebut istilah “geohydrology” sebagai ilmu yang mempelajari tentang air tanah pada pertemuan IASH tahun 1939, Geohidrology sebagai cabang dari hydrology dimana pada siklus hidrologi sebagian berada di permukaan yaitu penguapan, pengembunan, hujan, aliran permukaan ini sebagai “surface hydrology” sebagian siklus hidrologi yang lain akan meresap masuk kedalam tanah dan mengalir dibawah tanah ini disebut sebagai “subteranian hydrology” atau “geohydrology”

Mead dan Meinzer sebagai ahli-ahli hidrologi klasik menggunakan istilah yang berbeda yaitu “hydrogeology” dan “geohydrology”.

Ahli-ahli Amerika Serikat memperluas lingkup hydrogeology yaitu termasuk air permukaan dan bawah permukaan dengan orientasi (dasar) geology (Todd, 1995).

Pada saat ini permasalahan air tanah makin kompleks dengan adanya kerja sama dengan berbagai disiplin ilmu antara lain geologi, hidrologi, hidrolika, agronomi, kimia, fisika sehingga pengertian tentang air tanah sangat luas dan kompleks, sehingga batasan hydrogeology dan geohidrologi semakin kabur. Pada prinsipnya studi ini meliputi sifat fisik, kimia, lingkungan, gerakan, kegunaan dan lain-lain yang menyangkut airtanah.

Sejarah perkembangan hydrogeology meliputi perkembangan pemanfaatan airtanah, perkembangan teori airtanah klasik dan modern. Perkembangan pemanfaatan airtanah dilakukan dengan pembuatan sumur-sumur yaitu di Timur Tengah dengan mempergunakan tenaga manusia dan binatang dibantu dengan peralatan primitif dan tali. Sumur-sumurnya berdimensi besar dengan kedalaman yang masih dangkal.

Teknik pemboran yang tercatat sebagai awal teknologi adalah pemboran inti di Mesir th 3000 Seb. Masehi. Selanjutnya Cina mengembangkan bor tumbuk untuk pembuatan sumur bor, sedangkan mesinnya sebagian besar masih terbuat dari kayu dengan menggunakan tenaga tangan. Metode ini sampai sekarang masih digunakan orang di negeri-negeri Laos, Kamboja, Birma, Cina namun saja peralatannya sudah dimodifikasi.

Pemanfaatan airtanah yang merupakan pekerjaan besar pada zaman dahulu yaitu dengan membuat "infiltration galleries" yang panjang atau di kenal sebagai Qanat yaitu sejenis terowongan yang berfungsi untuk mengumpulkan airtanah. Qanat ini dibuat pada endapan kipas aluvial dan batuan endapan yang empuk. Panjang terowongan (saluran) sampai beberapa kilometer dan airnya digunakan untuk pertanian dan keperluan hidup sehari-hari. Qanat digunakan pertama sekali lebih dari 2500 th yang lalu di Iran. Cara seperti ini cepat meluas pemakaiannya sampai ke Afganistan, Mesir dan negeri-negeri disekitar teluk persia.

Suatu Qanat di Mesir yang dibangun pada tahun 500 SM yang terletak dilembah sungai Nil bagian barat dapat untuk mengalir areal seluas 3500 km<sup>2</sup>. Qanat sampai sekarang masih dijumpai di Iran, Afganistan, dll. Publikasi pertama sekali mengenai sumur yang dapat mengalir sendiri (flowing well) dibuat oleh Filsof dan Sheikh Abu Raihan al Biruni (973 - 1048) yang berasal dari Iran (Todd, 1995).

Pada tahun 1100 di Flonder Eropa Barat berhasil dibuat sumur yang airnya dapat mengalir sendiri yang dibuat dengan cara pemboran sistim "Tumbuk" setelah itu keberhasilan ini meluas sampai ke Inggris Timur dan Italia Utara. Sebagai sumur yang

terkenal waktu ini adalah sumur yang terletak di Propinsi Artois dengan jenis batumannya berupa chalk. Oleh karena itu maka sampai sekarang setiap sumur yang dapat mengalirkan airnya sendiri dinamakan dengan sumur Artois (Artesis). Selanjutnya maka cara pemboran tumbuk sangat berkembang di Eropa pada abad ke 18 dengan mencapai kedalaman 300 meter.

Selanjutnya sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan maka sekitar tahun 1890, pemboran dengan cara berputar berhasil dilakukan pada lapangan minyak Texas tahun 1901. Sejak itu mulailah era pemboran berputar. Dengan berkembangnya pompa turbin-dalam antara 1910 sampai 1930 mendesak digunakan pompa piston yang berkapasitas kecil.

## **B. Perkembangan Teori Airtanah**

Menurut Todd (1995) perkembangan teori-teori airtanah dimulai oleh ahli-ahli bangsa Yunani, antara lain adalah :

*Thales* (640 - 546 SM) mengatakan bahwa air keluar lewat batuan dan oleh kekuatan dari dalam batuan maka air keluar sebagai mata air.

*Plato* (427 - 347 SM) mengatakan bahwa Goa airtanah yang sangat luas adalah merupakan asal dari sungai. Air akan kembali ke Goa lewat bawah tanah, sedangkan mekanismenya merupakan suatu siklus.

*Aristoteles* (348 - 322 SM) adalah murid dari Plato menyatakan bahwa Airtanah terjadi pada sistem spon dan air dapat keluar sebagai mata air. Beberapa Goa air berasal dari air hujan yang masuk kedalam tanah (infiltrasi).



*Marcus Vitruvius* (15 SM) mengatakan bahwa air berasal dari salju-salju yang berada dipuncak-puncak gunung dan pada daerah yang rendah muncul sebagai mata air.

*Lucius Annaeus Seneca* (4 SM - th 65) pendapatnya sama dengan Aristoteles tetapi lebih nyata (teori infiltrasi). Gunung menerima hujan, sebagaimana hujan itu berkembang merembes kedalam tanah berkumpul dan di suatu tempat akan keluar sebagai mata air.

*Bernard Palissy* (1509 - 1589) beliau adalah seorang ahli filsafat Perancis mengembangkan teori siklus hidrologi dan mengupas tentang teori dan praktek dalam bukunya "Des eaux at fontaines".

*Johannes Kepler* (1571 - 1630), mengumpamakan bahwa bumi sebagai binatang yang sangat besar dan air laut dihisapnya, dicerna dan dikeluarkan sebagai airtawar lewat mata air.

*Athanasius Kircher* (1602 - 1680) seorang ahli matematika Jerman mengelaborasi teori-teori Seneca, Aristoteles, Kircher terkenal dengan "Mundus-Subterraneus" yang di publikasikan pada th 1664 dan merupakan buku standar pada sekolah-sekolah geologi abat ke 17. Air berasal dari Goa-Goa besar di gunung dan mata air dihubungkan dengan laut melalui saluran-saluran bawah tanah.

Setelah para ahli-ahli filsafat diteruskan oleh ilmuan-ilmuan antara lain adalah :

*Pierre Perrault* (1608 - 1680) mengukur besarnya curah hujan di cekungan Sungai Seine pada tahun 1668, 1669 dan 1670 dan mendapatkan rata-rata 520 mm/th. ia memperkirakan aliran air sungai pada daerah itu hanya sebesar 1/6 dari pada total hujan. Pierre Perrault juga mempelajari "evaporasi" (penguapan) dan kenaikan kapiler pada pasir kurang dari 1 m.

*Marriote* melanjutkan *Perrault*, mengukur infiltrasi dari hujan di Observatory Paris. Infiltrasi sepertihalnya mata air, sangat bervariasi di setiap tempat. ia mengatakan mata air berasal dari hujan yang terinfiltrasi masuk ke dalam tanah. Bukunya "Du mouvement des eaux" berisi antara lain tentang pengaliran, terjadinya sumur artesis, angin badai dsb. *Marriote* memperkirakan aliran S. Seine di Pont Royal Paris sebesar 200.000 ft<sup>3</sup>/menit dan kira-kira kurang dari 1/6 total curah hujan sebagai aliran permukaan, 1/3 terevaporasi dan 1/3 lagi tinggal di dalam tanah.

*Edmund Halley* (1656 - 1742) astronom inggris, mempelajari evaporasi di Laut Tengah dan menyimpulkan bahwa evaporasi sama besarnya dengan aliran sungai yang masuk ke dalam Laut Tengah.

*Hendry Darcy* (1803 - 1858) orang yang pertama menyatakan dengan hukum matematika pada aliran airtanah. *Darcy* seorang insinyur Perancis yang mengembangkan air untuk kota Dijon.

Percobaannya yaitu dengan menggunakan filter (penyaring) pasir yang di presentasikan pada tahun 1856 pada appendix laporan pengembangan air kota Dijon.

### **C. Perkembangan Hidrogeologi Modern.**

Perkembangan yang menyolok pada akhir abad ini meliputi tiga bahagian utama yaitu :

1. Pengembangan hubungan antara geologi dengan terjadinya (terbentuknya air tanah). Tokoh-tokohnya antara lain adalah ahli geologi *Rusia*, yaitu mengenai terjadinya airtanah di daerah Es.

Ahli geologi *Belanda* yaitu mengenai penyebaran airtanah didaerah Sanddunes. Sedangkan ahli geologi, geofisika Jepang yaitu tentang mata airpanas.

*William Smith* (1827) di Inggris menetrapkan ilmu geologi pada waktu menambah air di Scarborough Inggris yaitu dengan studi geologi lokal, mereka merekomendasi tentang storage (cadangan) airtanah dapat di tambah dengan pembuatan dam-dam pada mata air.

*HT Stearns* di Hawaii : tentang goa-goa batu gamping sebagai contoh yang baik untuk air tanah.

*OC Meinzer* : Metoda menginventaris airtanah, teori aliran artesis pada tahun 1920 - 1940 bekerja di USGS.

2. Pengembangan persamaan matematika tentang gerakan air pada batuan maupun endapan lepas. Untuk mempermudah dalam studi airtanah diperlukan hidrolika airtanah:

*J. Dupuit* (Perancis) : mengembangkan formula aliran air melalui sumur yaitu kira-kira 7 tahun setelah hukum Darcy ditemukan.

*Adolph Theim* 1870 (Jerman) memodifikasi formula Dupuit sehingga dapat dipakai untuk uji pompa (pumping test) dan telah diterapkan dibeberapa tempat.

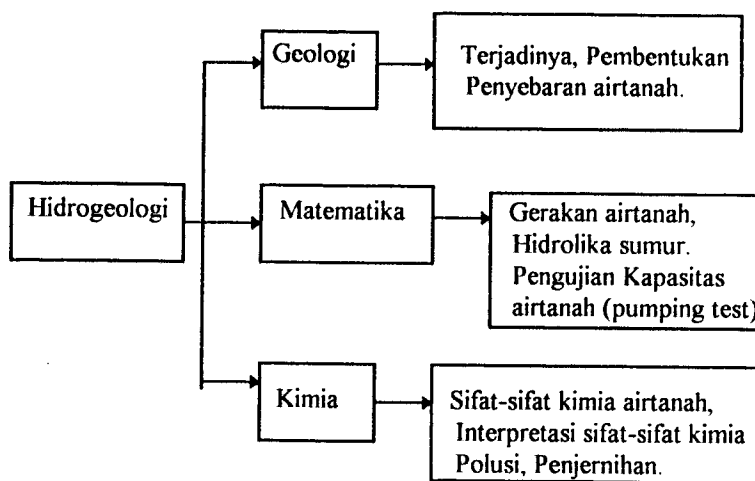
*Philip Forchheimer* ( Australia) 1886 menerapkan lebih luas matematika untuk berbagai aliran air tanah. Misalnya konsep jaring-jaring aliran airtanah.

*C.V Theis* 1935 dengan persamaan aliran air non steady state pada sumur-sumur pumping test dan disusul oleh

*CE Jacob, Morris Muskat* menerangkan gerakan airtanah dengan matematika (Suharyadi, 1984).

### 3. Pengembangan sifat-sifat kimia airtanah (hydrogeochemistry)

*BM Lersch* (1864) orang Jerman yang mula-mula mengembangkan. *TS. Hunt* (1865) orang Canada: studi interpretasi geokimia. *FW Clarke* (Amerika Utara) : tentang analisa kimia air dan interpretasi geokimia, publikasinya antara tahun 1910 - 1925. *H. Stabler* di Amerika Serikat. Studi hydrogeochemistry yang terkenal sampai sekarang adalah Perancis dan Jerman (Dominico, 1990).



Gambar 1.1 Skema Studi Hidrogeologi

### 4. Perkembangan di Indonesia

Perkembangan pemanfaatan air tanah di Indonesia telah dilakukan sejak beberapa abad yang lalu dan sampai saat ini terus berkembang sesuai dengan pertumbuhan kebutuhan akan air bersih serta makin berkembangnya jumlah penduduk dan sektor yang menggunakan air bersih. Pemanfaatan airtanah pada saat ini adalah sangat populer

dengan melakukan pemboran airtanah dalam dan dangkal dan terus berkembang untuk memenuhi kebutuhan masyarakat baik untuk air minum, industri irigasi dan sebagainya. Pemboran airtanah di Indonesia telah dimulai semenjak zaman VOC terutama untuk kebutuhan militer / VOC. Pemboran yang pertama dilakukan di Indonesia dilakukan di Jakarta yang merupakan pemboran artesis pada tahun 1872. Pada periode selanjutnya terus berkembang dan menyebar ke arah sepanjang pantai utara Jawa, sebagian dari sumur-sumur bor tersebut sampai sekarang masih digunakan oleh masyarakat kecuali yang berada di daerah Demak pada saat ini tidak lagi merupakan air artesis positif (flowing well), (Suharyadi, 1984).

Menurut Joko Rismianto (1995) setelah Indonesia merdeka maka perkembangan sumur-sumur bor di Indonesia menjadi sangat berkembang, dimana pada awal pelita I tahun 1969 di Direktorat Geologi telah tercatat sebanyak 1490 buah sumur bor dengan menghasilkan kira-kira 0.43 juta m<sup>3</sup>/hari. Sedangkan penambahan sumur bor yang dilakukan oleh perusahaan pemboran diperkirakan mencapai 1000 sumur baru, sehingga pada tahun 1980 diperkirakan menghasilkan 0.74 juta m<sup>3</sup>/hari. Untuk pada saat ini menginventarisasikan jumlah sumur-sumur bor yang ada di Indonesia sudah sangat sulit dilakukan karena telah banyaknya pemboran yang dilakukan baik oleh pemerintah maupun oleh swasta ataupun perorangan yang tanpa melaporkan pekerjaan pemboran sumur tersebut, seharusnya untuk melakukan pemboran airtanah haruslah mendapat izin dari Direktorat Geologi Tatalingkungan ataupun Dinas yang telah ditunjuk oleh pemerintah setempat. Sulitnya mendeteksi pemboran-pemboran yang

tidak melalui izin ini akan dapat menyulitkan atau menimbulkan masalah yang besar di kemudian hari.

Instansi-instansi pemerintah yang telah di tunjuk untuk berurusan dengan airtanah antara lain adalah :

1. Direktorat Geologi Tata Lingkungan Khususnya sub Dit Hidrogeologi (Dep. Pertambangan dan Energi) yang pada saat ini telah membuat peta-peta hidrogeologi untuk daerah Indonesia sekalipun belum semuanya selesai di terbitkan, kecuali untuk daerah P.jawa sudah seluruhnya ada.

2. Departemen Pekerjaan Umum antara lain :

a. P2AT (Proyek Pengembangan Airtanah)

b. Direktorat Jendral Cipta Karya dengan proyek air bersih sekarang sudah sampai dengan penyediaan airbersih sampai pada tingkat kecamatan.

c. Direktorat Peneyelidikan masalah Air (DPMA) yang sekarang menjadi Puslitbang.

3. Departemen Kesehatan

Dengan proyek-proyek pemboran, misalnya pemboran pompa tangan, perpipaan dari mata air untuk kepentingan sehari-hari.

4. Departemen Sosial, Departemen Dalam Negeri, pabrik-pabrik, juga pihak-pihak swasta yang telah diberi izin untuk melakukan pemboran.

Selanjutnya Direktorat Jenderal Cipta Karya yang merupakan salah satu direktorat jenderal dilingkungan Departemen Pekerjaan Umum, melaksanakan program yang salah satu komponen kegiatannya adalah pembinaan teknis air bersih yang

memanfaatkan potensi sumber daya alam, khususnya potensi sumberdaya air sangat erat kaitannya dengan pengelolaan air limbah dan penanganan drainase.

Khusus dalam prasarana air bersih terdapat 3 (tiga) instansi Pemerintah Pusat yang mempunyai peranan, yaitu :

1. Departemen Pekerjaan Umum, mempunyai tugas dalam pembinaan teknis pembangunan sistem air bersih (sistem perpipaan dan non perpipaan).
2. Departemen Kesehatan, bertanggung jawab dalam pengawasan atas kualitas air.
3. Departemen Dalam Negeri, yang bertanggung jawab atas pembinaan administrasi (non teknis terhadap PDAM, sesuai dengan No 5/1974 tentang Otonomi Daerah dan PP No 14/1987 tentang penyerahan sebagian tugas-tugas ke PU-an pada Pemerintah Daerah Tingkat II ).

Sedangkan untuk sumberdaya air sesuai dengan UU No. 11 tahun 1974, maka :

1. Departemen Pekerjaan Umum bertanggung jawab atau merekomendasikan penggunaan air permukaan.
2. Departemen Pertambangan dan Energi merekomendasikan penggunaan air bawah tanah.
3. Gubernur / Pemerintah Daerah Tingkat I, Untuk perijinan penggunaan air bagi sungai-sungai di daerah aliran sungainya ada pada satu propinsi, termasuk juga untuk air tanah (Joko rismianto, 1995)

Klasifikasi Pemakaian Air menurut Suharyadi (1984) adalah :

Kota modern : + 600 l / orang / hari

di Amerika : + 200 - 250 l/orang/hari

di Kota-kota besar di Indonesia : 80 - 100 l/orang/hari

di Indonesia : 50 - 60 l/orang/hari

atau rata-rata air 1 liter/detik dapat dimanfaatkan untuk 1000 penduduk atau untuk pengairan sawah 1 hektar .

Peternakan domba : 6 l/ekor/hari

lembu : 10 l/ekor/hari

ayam : 1/2 - 1 l/ekor/hari



## **BAB. II AIR TANAH**

### **A. Asal Airtanah.**

Airtanah (ground water) adalah air yang mengisi rongga-rongga pori tanah atau celah batuan serta bertekanan sama dengan atmosfer, dengan kata lain yaitu air yang terdapat dibawah permukaan airtanah (ground water table) dan pada zone jenuh (saturasi). Mengenai asal usul terjadinya airtanah dapat dilihat dari beberapa teori antara lain :

#### **1. Teori Infiltrasi**

Berdasarkan teori infiltrasi menyatakan bahwa airtanah berasal dari air hujan yang jatuh kepermukaan tanah yang sebahagian akan menjadi air limpasan, dan air infiltrasi. Air infiltrasi sebahagian akan terus kedalam tanah sebagai air perkolasi, sebahagian lagi akan muncul lagi sebagai mata air dan sebahagian akan tinggal sebagai air tanah permukaan. Proses ini akan kembali berlanjut yang membentuk suatu peredaran yang disebut sebagai suatu siklus hidrologi.

#### **2. Air Juvenil**

Air juvenil adalah airtanah yang terbentuk dari magma yang telah mengalami berbagai proses yang belum dapat diterangkan secara jelas. Teori ini membagi airtanah menjadi dua yaitu air magmatik dan air vulkanik.

### 3. Teori Connate Water

Menjelaskan bahwa airtanah berasal dari formasi batuan endapan dibawah laut yang lambat laun terangkat kepermukaan laut. Air yang tersimpan dan terbawa dalam formasi batuan tersebut akan menjadi airtanah.

### 4. Teori Kondensasi

Berdasarkan teori ini airtanah berasal dari sebahagian uap air di udara yang berkondensasi dan beredar melalui rongga atau retakan batuan. Awan yang terbawa oleh udara memasuki rongga atau retakan batuan yang dapat mengalami pengembunan dan akan mencair yang kemudian akan menjadi airtanah.

Berdasarkan teori-teori yang dijelaskan diatas maka saat ini teori infiltrasi lebih dapat meyakinkan dan lebih banyak dipercaya sebagai sumber dari airtanah.

Menurut Suharyadi (1984) banyaknya kandungan airtanah suatu daerah tergantung kepada :

1. Iklim atau musim yaitu banyaknya curah hujan
2. Banyak sedikitnya tumbuh-tumbuhan yang menutupi
3. Topografi misalnya lereng, datar dan sebagainya
4. Derajat kesarangan atau derajat celah batuan

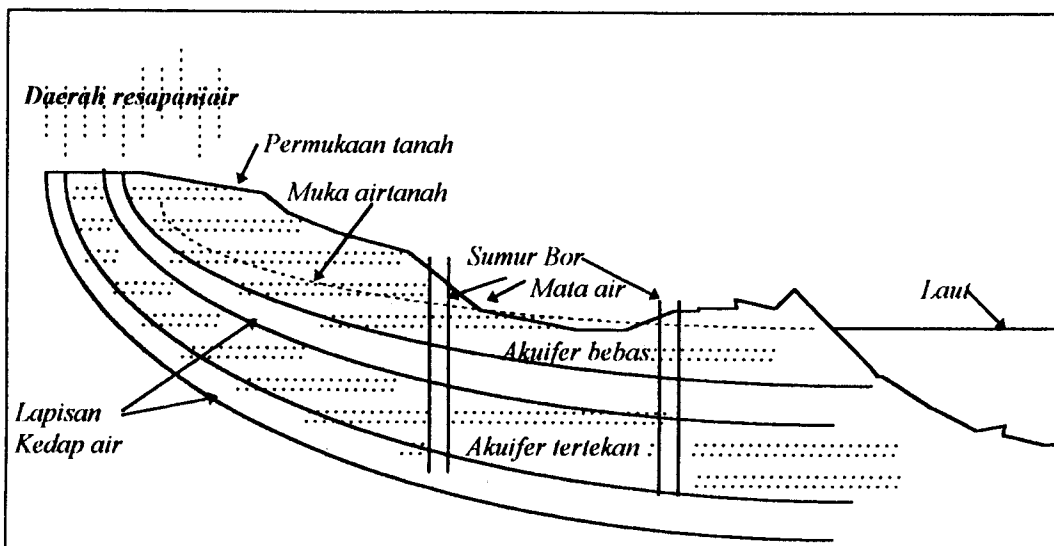
### **B. Sifat Batuan Terhadap Airtanah**

Berdasarkan sifat fisik dari batuan, menurut Todd (1995) airtanah dapat dibedakan menjadi empat jenis yaitu :

1. *Akuifer* : lapisan pembawa air (permeabel), yaitu batuan yang mempunyai susunan sedemikian rupa sehingga dapat mengalirkan air dengan jumlah yang cukup berarti dibawah kondisi lapang seperti pasir, kerikil batu pasir, batu gamping yang berlobang-lobang dan batu lava yang retak-retak dsb. Kata akuifer berasal dari *aqua* yang berarti air dan *ferre* berarti mengandung.
2. *Akuiklud* (lapisan kedap air) yaitu lapisan yang dapat menyimpan air tetapi tidak dapat mengalirkan dengan jumlah yang berarti, contohnya lempung, tuff halus, lumpur dan berbagai batuan yang berukuran lempung. Lapisan ini disebut juga dengan lapisan *impermeabel*. Kata akuiklud berasal dari kata *aqua* dan *cludere* yang berarti menutup.
3. *Akuifug* (lapisan kebal air) yaitu batuan yang tidak dapat menyimpan dan mengalirkan air, contohnya granit, batuan kompak batuan keras dan padat. Kata akuifug berasal dari kata *aqua* dan *fugere* yang berarti mengusir.
4. *Akuitar* yaitu batuan yang mempunyai susunan sedemikian rupa sehingga dapat menyimpan air tetapi hanya dapat mengalirkan dalam jumlah yang terbatas, misalnya tampak adanya rembesan atau bocoran. Akuitar terletak diantara akuifer dengan akuiklud.

Sedangkan berdasarkan litologinya, menurut Kruseman 1970 akuifer dapat dibedakan menjadi empat macam yaitu:

1. *Unconfined aquifer*, yaitu akuifer bebas / tidak tertekan dimana muka airtanah, merupakan bidang batas sebelah atas dari zone jenuh air. Akuifer ini disebut juga *phreatic aquifer*, *non artesian aquifer* atau *free aquifer*.
2. *Confined aquifer*, yaitu suatu akuifer tertekan yang terletak dibawah lapisan kedap air (*impermeabel*) dan mempunyai tekanan lebih besar dari pada tekanan atmosfer. Akuifer ini disebut juga dengan *pressure aquifer* atau *artesian aquifer*.
3. *Leakege aquifer* (akuifer bocor) yaitu suatu akuifer dimana airtanahnya terletak dibawah lapisan yang setengah kedap air sehingga akuifer disini terletak antara akuifer bebas dengan akuifer tertekan.
4. *Perched aquifer* (akuifer menggantung) yaitu akuifer yang mempunyai massa airtanah terpisah dari airtanah induk oleh suatu lapisan yang relatif kedap air yang tidak begitu luas dan terletak diatas zona jenuh air.



Gambar 2.1 Jenis-Jenis Akuifer

553.79  
Etili  
h ①

1107/K (98-h1/2)

### C. Kesarangan (Porositas)

Porositas adalah semua lubang yang tidak terbatas ukurannya pada suatu massa batuan yang kemungkinannya bisa terisi oleh air. Kata porositas berasal dari *pores* yang berarti pori-pori. Bagian lubang disebut sebagai *porespace* atau *interstices* atau *voids*. Porositas berdasarkan jenis kesarangannya sangat bervariasi tergantung kepada sudut tinjauan kita yaitu :

1. Ditinjau dari kejadiannya.
  - a. Kesarangan asli (porositas primer) atau *original interstices*, yaitu terbentuknya bersama-sama dengan terbentuknya batuan. Contohnya pemadatan, sementasi, ukuran butir, bentuk butiran, dan sortasi.
  - b. Kesarangan tidak asli (porositas sekunder) yaitu terbentuknya setelah terbentuknya batuan contohnya kekar, retakan, dan lubang pelarutan.
2. Ditinjau berdasarkan ukuran lubang.
  - a. Porositas Kapiler (*cappillary interstices*) yaitu air dapat tersimpan pada lubang-lubang pori karena tegangan permukaan.
  - b. Porositas sub kapiler , yaitu ukuran lubang lebih kecil dibandingkan ukuran kapiler.
  - c. Porositas super kapiler, yaitu ukuran lubang lebih besar dari ukuran kapiler.
3. Ditinjau dari hubungan lubang-lubangnya
  - a. Saling berhubungan (*communicating interstices*)
  - b. Terisolasi (*isolated interstices*).

Tingkat porositas batuan pasir dapat berkurang disebabkan oleh sementasi, pergantian antara satu mineral dengan mineral lainnya dan proses pengkristalisasi. Sebaliknya porositas itu dapat pula dipertinggi dengan penguraian / perombakan butir-butiran batuan dan perombakan semen. Tingkat porositas yang tinggi dari pasir bukan hanya porositas yang ditimbulkan oleh ruang antar butir batuan itu sendiri melainkan adalah penguraian sekunder dari perkembangan perombakan (Dominico, 1990)

Beberapa pemikiran modern tentang perkembangan porositas pada batuan pasir oleh Hayess (1977) adalah :

- a. Jarak utama antar butir yang hampir total dihancurkan / diuraikan oleh beberapa proses mekanik dan kimia pada periode-periode awal.
- b. Porositas sekunder dapat diciptakan melalui penguraian atau perombakan
- c. Diagenesis kimia yang berbentuk reaksi proses kinetik dari batuan pasir dengan mineral-mineral dan perubahan perpindahan rombakan terutama pada lingkungan deposit daerah air batuan serpih.

Secara ringkas larutan memindahkan dari bentuk serpih ke bentuk pasir, karena serpihan lebih besar dari pasir akan terus terbawa ke laut dan mengendap di dasarnya sampai mempunyai keseimbangan.

Besarnya kesarangan dinyatakan sebagai perbandingan antara seluruh pori-pori batuan dengan isi total batuan (bulk volume) dalam persentase (%). Tingkat porositas dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$n = \frac{V_v}{V_t}$$

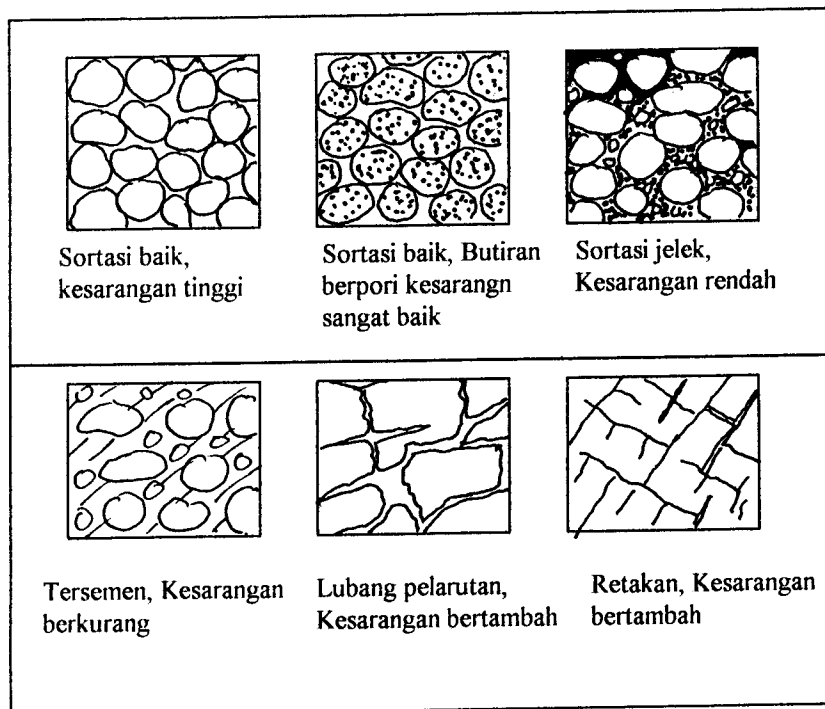
$n$  : Porositas (%)

$V_v$  : Volume void (volume pori-pori)

$V_t$  : Volume total

Kesarangan efektif (Effective porosity), adalah perbandingan antara volume pori (rongga) yang saling berhubungan dengan volume total batuan dinyatakan dalam persentase atau disebut sebagai kesarangan relatif.

**Gambar 2.2 Hubungan Tekstur Dengan Kesarangan (Porositas)  
Menurut Todd 1995**



Kesarangan yang besar apabila lebih besar / sama dengan 20%, kesarangan sedang berkisar antara 5 - 20% dan kesarangan kecil apabila mempunyai harga kurang dari 5%.

**Tabel 2.1 Tingkat Porositas Menurut Todd (1995)  
Pada Batuan Endapan**

No.	Material	Kesarangan (%)	No.	Material	Kesarangan (%)
1.	Tanah (soil)	50 - 60	7	Kerikil	30 - 40
2.	Lempung	45 - 55	8	Kerikil dan Pasir	20 - 35
3	Lumpur (silt)	40 - 50	9	Batupasir	10 - 20
4	Pasir sedang dan kasar	35 - 40	10	Shale	1 - 10
5	Pasir seragam	30 - 40	11	Batugamping	1 - 10
6	Pasir halus	30 - 35			

**Tabel 2.2 Porositas Pada Batuan Endapan Menurut Walton  
(Todd 1980)**

No.	Material	Kesarangan (%)	No.	Material	Kesarangan (%)
1.	Lempung	45 - 55	5	Batupasir	10 - 20
2.	Pasir	35 - 40	6	Shale	1 - 10
3	Kerikil	30 - 40	7	Batugamping	1 - 10
4	Pasir dan kerikil	20 - 35			

Pada "Zone of aeration" lubang-lubangnya sebahagian terisi oleh air dan sebahagian lainnya terisi oleh udara, jadi belum jenuh dengan air, airnya disebut "suspended ("vadose") water".

Pada "Zone of saturation" lubang-lubangnya sudah terisi oleh air dan punya tekanan hidrostatik. Airnya disebut "groundwater" (airtanah). Batas kedua zone tersebut adalah bidang "phreatic" mungkin berupa muka airtanah (water table) apabila tidak ada lapisan yang kedap air.



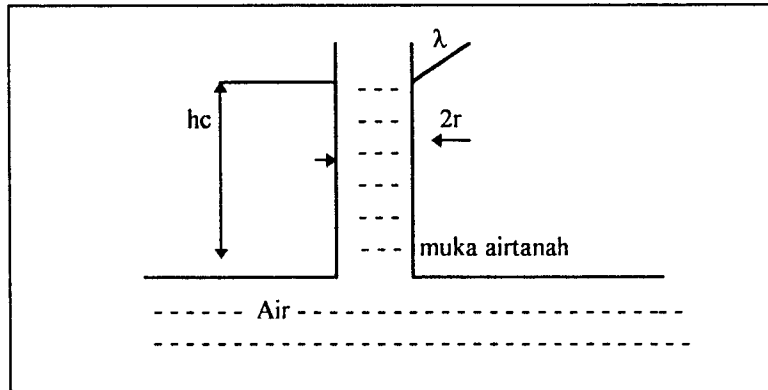
**Tabel 2.3 Penyebaran Vertikal Airtanah (Todd 1995)**

	Soil water zone	Soil water	
Head of aeration (tidak jenuh air)	Intermediate zone	Pellicular & Gravitational water	Suspended water (vadose water)
	Capillary zone	Capillary water (muka airtanah)	
Zone of Saturation (jenuh air)		Ground water (airtanah)	
Batuan Dasar (Bed Rock)			

4. Zone Tidak Jenuh Air (*Zone of Aeration*)

Air pada zone ini dapat dibagi menjadi tiga bagian yaitu : "*soil water zone*", "*intermediate vadoze zone*" dan "*capillary zone*". Air pada "*soil water zone*" kurang jenuh, kecuali ada air hujan atau irigasi yang meresap. Zone ini terletak mulai pada permukaan tanah sampai zone akar tumbuh-tumbuhan. Ketebalannya bervariasi tergantung jenis tanah dan tumbuh-tumbuhannya. Pada zone ini sangat penting artinya bagi ahli-ahli pertanian ataupun ahli tanah. Dibawah *soil water zone* disebut "*intermediate vadose zone*" ketebalannya bervariasi dari 0 (nol) pada daerah yang mempunyai muka airtanah sangat dangkal sampai lebih dari 100 m pada daerah yang muka airtanahnya sangat dalam. Air disini bergerak vertikal turun. Pada zone ini terfapat 2 macam air yang disebut "*pellicular water*", airnya tidak bergerak sebab tertahan oleh gaya higroskopis dan daya kapiler. Sedangkan yang lainnya bergerak

vertikal turun karena adanya gaya berat dan disebut “gravitational water”. Zone terbawah disebut “capillary zone” yang mempunyai ketebalan dari muka airtanah keatas sampai batas kenaikan air dapat dihitung seperti dibawah ini.



Gambar 2.3 Kenaikan Air Pada Tabung Kapiler

$\tau$  = Tegangan permukaan = 0,074 gr/cm pada 50°F

$\gamma$  = Berat jenis air (gr/cm<sup>3</sup>)

$r$  = Jari-jari lubang

$\lambda$  = Sudut kontak miniskus dengan dinding.

Persamaan :  $2\pi r\tau \cos\lambda = hc\pi r^2\gamma$

$$hc = \frac{2\tau \cos\lambda}{r\gamma}$$

$$hc = \frac{0,15}{r} \cos\lambda$$

Tergantung komposisi kimia air dengan dinding hc bervariasi dalam inci pada kerikil, dalam feet pada pasir dan beberapa meter pada lempung.

## 5. Zone Jenuh Air (“zone of saturation”)

Pada zone ini, seluruh lubang telah jenuh terisi air. Disini kesarangan merupakan ukuran air dalam satuan volume air pada zone ini tidak seluruhnya dapat diambil (dipompa) sebahagian air akan tertinggal disebut sebagai “retained water” yang disebabkan karena adanya tenaga molekular dan tegangan permukaan. Air yang tertinggal dapat dinyatakan dengan “specific retention” (Sr).

Specific retention adalah perbandingan air yang tertahan dalam tanah yang jenuh setelah diadakan pemompaan di bandingkan volume total atau tanah dinyatakan dalam persen (%).

$$Sr = \frac{Wr}{V} \times 100\%$$

Kebalikan dari specific retention disebut specific yield (Sy) atau kesarangan efektif ialah perbandingan dalam persen (%) air yang dapat diambil dari tanah atau batuan atau tanah.

$$Sy = Wy \times 100\%$$

$$Sr + Sy = \alpha$$

$\alpha$  = kesarangan

Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya specific yield adalah :

- a. Pematatan ( harga Sy berkurang sesuai dengan kedalamannya)
- b. Besar butir
- c. Bentuk pembagian pori-pori.

**Tab2 4. Specific Yield (Sy) Pada Berbagai Batuan  
(Johnson menurut TODD, D,K Th 1995)**

No.	Material	Sy (%)	No.	Material	Sy (%)
1	Kerakal Kasar	23	8	Lempung	3
2	Kerakal	24	9	Batupasir halus	21
3	Kerikil	25	10	Batupasir sedang	27
4	Pasir kasar	27	11	Batugamping	14
5	Pasir sedang	28	12	Sanddune	38
6	pasir halus	23	13	Sekis	26
7	Lumpur	8	14	Tuff	21

**Tab2 5. Specific Yield Pada Berbagai Batuan  
(Walton Wc 1970)**

No.	Material	Sy (%)	No.	Material	Sy (%)
1	Lempung	1 - 10	4	Pasir dan kerikil	15 - 25
2	Pasir	10 - 20	5	Batupasir	5 - 15
3	Kerikil	15 - 30	6	Shale	0,5 - 5
			7	Batugamping	0,5 - 5

Bidang pisometrik adalah suatu permukaan imajiner (bayangan) yang berimpitan dengan permukaan tekanan hidrostatik pada akuifer tertekan.

Berdasarkan material penyusunnya, maka terdapatnya airtanah di alam dapat dibedakan menjadi dua yaitu :

- a. pada material lepas (unconsolidated materials)
- b. material kompak (consolidated material)

dimana kira-kira 90% airtanah terdapat pada material lepas misalnya pasir, kerikil, campuran pasir dan kerikil dan sebagainya.

POSTAL  
DANG

Berdasarkan daerah pembentukannya terdapatnya airtanah pada material lepas dapat dibedakan menjadi 4 wilayah yaitu :

a. Daerah aliran airtanah (*water courses*)

Terdiri dari aluvial yang terletak di kanan-kiri sungai yang mengalir. Apabila muka air sungainya lebih tinggi dari muka airtanah, potensi airtanah cukup besar. Faktor yang menyebabkan daerah ini cukup potensial adalah materialnya lepas dan air sungai mensuplai airtanah.

Contoh: dataran lembah sungai Citandui, Bengawan Solo, Aluvial Sungai Batang Kuranji, Sungai Batang Arau dan sungai Airdingin di Padang.

b. Daerah lembah mati (*abandoned/buried balleys*).

Lembahnya sudah tidak dilewati sungai, Potensi airtanahnya cukup besar akan tetapi suplai air yang diterimanya tidak sebesar daerah aliran air.

c. Daerah dataran (*extensive plain*)

Dataran yang luas dengan endapan yang belum mengeras misalnya pasir, kerikil. Pengisian (*recharge*) pada umumnya diperoleh dari perkolasi air hujan / sungai.

Contoh : dataran pantai, kondisi disini ditentukan oleh keadaan geologi daerah pegunungan atau perbukitan yang membatasi dibagian atasnya ( Daerah Aliran Sungai = basin) yang bertindak sebagai pensuplai bahan rombakan yang kemudian diendapkan di daerah rendah (pantai). Hal yang perlu diperhatikan kemungkinan adanya penyusupan air laut.

**Tabel 2.6 Macam-macam Batuan dan Tipe Kesarangan  
(Dept. of Economic and Sosial Affairs, menurut Todd DK 1995)**

Tipe Porositas	Batuan Endapan			Batuan Beku dan Batuan Ubahan	Batuan Vulkanik	
	Kompak	Lepas	Karbonat		Kompak	Lepas
Antar butiran		Pasir kerikilan, Pasir lempungan, Lempung pasiran		Zone pelapukan dari Granit, Gneis	Zone pelapukan Basalt	Batuan Vulkanik lepas, Blok sampai debu vulkanik
Antar butiran dan Retakan	Breksi Konglomerat, Batu pasir		Batu Gamping, Oolitik		Breksi vulkanik, Tuf, Batu apung	
Retakan			Batu Gamping Dolomit, Batu Dolomit Gamping	Granit, Gneis, Gabro, Kwarsit, Diorit, Skeis	Basalt, Andesit, Riolit	

d. Daerah Lembah Antar Gunung (intermountane valleys).

Yaitu daerah lembah yang dikelilingi oleh pegunungan (gunung) biasanya terdiri dari material lepas dalam jumlah yang sangat besar. Material ini berasal dari pegunungan (gunung) disekitarnya. Pada umumnya merupakan lembah-lembah tersendiri yang terpisah-pisah oleh gunung. Materialnya berupa pasir, kerikil dan menerima air dari pengisian di atasnya (recharge area), rembesan-rembesan sungai dimulut kipas aluvial. Di daerah ini kemungkinan dapat merupakan daerah yang mempunyai airtanah tertekan.

Pada dataran antar gunung yang dibatasi oleh kaki-kaki gunung api akan mempunyai perbedaan besar butir pada setiap tahap kegiatan gunung api tersebut. Sehingga dapat menyebabkan terbentuknya kondisi airtanah tertekan, terutama yang

terletak tidak seberapa jauh dari bagian kaki gunung api. Lembah antar gunung api yang masih aktif seperti halnya di Indonesia sangat besar potensi airtanahnya misalnya lembah madiun, lembah kediri dan sebagainya. Kalau lembah tersebut dibatasi oleh kaki pegunungan lipatan maka sangat perlu diperhatikan akan luasnya penyebaran litologi yang diperkirakan dapat bertindak sebagai akuifer, kedudukan antar stratigrafinya maupun struktur geologinya.

Pada material kompak yang berkemungkinan mempunyai potensi airtanah yang cukup besar adalah :

a. Batu Gamping

Batu ini dalam keadaan wajar tidak dapat bertindak sebagai akuifer, tetapi kalau banyak retakan, lubang pelarutan akan memungkinkan untuk bertindak sebagai akuifer. Dalam hal ini jenis batu gamping sangat menentukan disamping topografinya.

b. Batu Beku Gang (dalam)

Batu ubahan ini tidak termasuk sebagai akuifer yang baik, akan tetapi bisa mengandung airtanah jika banyak rekahan-rekahannya.

c. Batuan Vulkanik

Batuan vulkanik primer misalnya lava basalt dapat sangat lulus air apabila banyak lubang-lubang bekas gas maupun retakan. Pada endapan vulkanik dapat bertindak sebagai akuifer yang baik terutama yang berumur muda.

Menurut Purbo Hadiwidjojo (1970) berdasarkan morfologinya, kondisi airtanah didaerah gunung api dapat dibedakan menjadi tiga daerah yaitu :



a. Daerah Puncak (Kerucut Gunung Api)

Merupakan daerah pengaliran permukaan, kemiringan lereng lebih besar dari  $35^{\circ}$ .

b. Daerah Tubuh Gunung Api

Daerah ini merupakan awal terbentuknya airtanah atau disebut sebagai daerah perkolasi, disini sudah di jumpai adanya mata air, kemiringan lereng antara  $10^{\circ}$  -  $20^{\circ}$

c. Daerah Kaki Gunung Api

Merupakan daerah utama terbentuknya airtanah. Kemiringan lereng kurang dari  $5^{\circ}$

6. Fluktuasi Airtanah

Muka airtanah baik yang berupa muka airtanah bebas (pneumatic) maupun berupa muka airtanah tertekan (piezometric) merupakan elevasi tekanan atmosfer dari akuifer. Setiap penyimpangan dari keadaan normal yang menghasilkan suatu perubahan dalam tekanan dari airtanah, akan menyebabkan muka airtanah berubah. Perubahan-perubahan tersebut misalnya dalam perbedaan penambahan dan pengambilan airtanah dan sebagainya. Perubahannya akan bervariasi dari waktu ke waktu.

Perubahan muka airtanah dapat disebabkan oleh :

- a. Pemompaan
- b. Variasi tingkatan aliran
- c. Evaporasi, Transpirasi
- d. Pembebanan dari luar
- e. Pasang surut.

## Macam-Macam Fluktuasi

Berdasarkan waktu, fluktuasi muka airtanah dapat dibedakan menjadi :

a. *Secular*, berubahnya sampai selama tahunan

Hal ini dapat disebabkan oleh karena panjangnya musim kemarau atau justru sebaliknya. Atau pada curah hujan di atas atau dibawah rata-rata tahunannya.

Perlu di ingat curah hujan bukan patokan fluktuasi airtanah.

b. *Seasonal*, berubahnya setiap musim (musiman)

Disebabkan oleh perubahan musim misalnya musim kemarau dengan musim penghujan

c. *Journal*, berubahnya secara harian

Dapat disebabkan karena adanya perbedaan besarnya penguapan, atau adanya perbedaan tekanan udara.

d. *Temporer*, berubahnya pada setiap saat.

Dapat disebabkan karena pada saat itu terjadi gempa bumi sehingga menyebabkan terjadinya perubahan fluktuasi yang bersifat temporer, juga akibat adanya muatan dari luar.

## Pengaruh Aliran Permukaan Terhadap Fluktuasi.

Pengaruh aliran air permukaan yang mempunyai hubungan langsung dengan akuifer bebas maka aliran air permukaan dapat sebagai pemberi air atau sebagai

penerima air. Pengaruh ini tergantung dari kedudukan muka airtanah dengan kedudukan muka air dari aliran air permukaan tersebut. Dalam hal ini dapat berupa :

- a. Influent (losing stream). Apabila aliran air permukaan sebagai pemberi air pada airtanah
- b. Effluent (gaining stream). Apabila airtanah sebagai pemberi pada aliran air permukaan.

### BAB III. PEMUNCULAN AIR TANAH

Pemunculan airtanah secara alami dapat berupa (springs) atau rembesan (seepages). Mata air ataupun rembesan kecuali berasal dari air hujan (air permukaan) melalui peredarannya yang dikenal sebagai siklus (jentra) hidrologi, juga dapat berasal dari air magmatik maupun air fosil (connate water).

#### A. Definisi

Berbagai ahli telah mendefinisikan mata air ataupun rembesan antara lain Todd, Tolman yang menyatakan bahwa mata air adalah pemusatan dari pengeluaran airtanah yang muncul pada permukaan airtanah sebagai arus dari aliran air.

Todd (1995) membedakan mata air dengan rembesan, kalau rembesan pengalirannya secara perlahan-lahan. Menurut Miller, rembesan adalah mata air yang keluar secara perlahan-lahan dan menyebar pada permukaan tanah. Mata air menurut Ries adalah air yang keluar secara alamiah pada suatu tempat dari celah yang tertentu.

#### B. Klasifikasi Mata Air

Keadaan mata air sangat bervariasi baik sifat fisik, maupun kimianya. Hal tersebut dapat disebabkan karena keragaman kondisi geologinya. Dengan demikian timbul berbagai klasifikasi yang mendasarkan atas :

##### 1. Klasifikasi mata air berdasarkan Sifat pengalirannya

Menurut Tolman dapat dibedakan menjadi tiga bentuk pengaliran yaitu :

- a. Mata air menahun (*perennial springs*) adalah mata air yang mengeluarkan airnya sepanjang tahun,

- b. **Mata air musiman** (*intermittent springs*) adalah mata air yang mengeluarkan airnya pada periode-periode yang tertentu. Misalnya pada musim penghujan mata air tersebut mengeluarkan air sedangkan pada musim kemarau mata air tersebut kering.
- c. **Mata air periodik** (*periodic springs*) adalah mata air yang mengeluarkan airnya pada periode-periode yang tertentu. Hal ini disebabkan oleh karena antara lain adalah pengurangan proses evaporasi pada malam hari, adanya perubahan tekanan luar, adanya pasang surut dari permukaan laut proses pendidihan air oleh tubuh batuan yang panas.

2. Klasifikasi mata air berdasarkan besarnya debit pengaliran menurut Meinzer dapat dibedakan menjadi :

- a. Apabila debitnya besar dari 100 cfs (+ 2829,98 l/dt)
- b. Debit antara 10 - 100 cfs
- c. Debit antara 1 - 10 cfs
- d. Debit antara 100 gallon/menit - 1 cfs
- e. Debit antara 10 - 100 gallon/menit
- f. Debit antara 1 - 10 gallon/menit
- g. Debit antara 1 pt/menit - 1 gallon/menit
- h. Debit kurang dari 1 pt/menit

Keterangan :

$$1 \text{ pt} = 180 \text{ gallon/hari}$$

1 pt = 0,5682 liter

1 cfs = 449 gallon/menit

1 cfs = 23,8 liter/detik

3. Klasifikasi air berdasarkan suhu airnya, menurut **Tolman** dapat dibagi menjadi 3 bagian yaitu :

- a. Mata air sejuk (Cold springs)
- b. Mata air normal (ordinary temperature springs) atau disebut juga sebagai “non thermal springs)
- c. Mata air panas (thermal springs)

Dalam hal ini Tolman tidak memberikan batasan suhu hanya antara mata air normal dengan mata air panas dikatakan batasannya adalah  $21,11^{\circ}\text{C}$ , tetapi harus di ingat bahwa hal ini pada daerah dingin bukan daerah tropis, sehingga batasan tersebut sebaiknya dibandingkan dengan suhu udara rata-rata, demikian juga mata air panas harus mempunyai suhu air jauh lebih besar dari suhu udaranya.

4. Klasifikasi mata air berdasarkan tenaga penyebabnya, menurut **Bryan** dibedakan menjadi 2 jenis utama yaitu yang disebabkan oleh :

- a. *Karena gaya grafitasi*. Mata air yang disebabkan oleh karena gaya grafitasi yaitu
  - a) Mata air cekungan, yaitu yang disebabkan karena permukaan tanah memotong muka airtanah setempat pada material (batuan) yang lulus air

b) Mata air kontak yaitu mata air yang muncul pada kontak (batas) antara batuan yang lulus air dengan batuan yang kedap air dibawahnya.

c) Mata air artesis yaitu mata air yang berasal dari airtanah tertekan.

d) Mata air yang melalui lubang sekunder, yaitu mata air yang muncul misalnya lewat lubang pelarutan pada batu gamping atau lewat rekahan-rekahan misalnya lava.

b. Karena *selain dari gaya grafitasi*.

Mata air ini munculnya dipermukaan tanah bukan disebabkan karena gaya grafitasi contohnya mata air vulkanik dan mata air celah. Munculnya mata air ini disebabkan karena adanya tenaga dari dalam bumi misalnya air panas, geiser, dan sebagainya.

#### 5. Klasifikasi mata air berdasarkan tipe material pembawa air (akuifer)

Berdasarkan tipe material pembawa airnya dapat dibedakan menjadi 6 macam mata air yaitu :

a. Mata air yang muncul dari material lulus air yang tipis. Contohnya mata air pada akuifer menggantung, mata air talus (bahan rombakan), mata air pada material longsor.

b. Mata air yang muncul dari material yang lulus air (akuifer) yang tebal, contohnya mata air lembah atau mata air pada alur.

- c. Mata air yang muncul merupakan selang seling antara material lulus air (akuifer) dan kedap air. Pada umumnya berhubungan dengan struktur geologi misalnya antiklinal, sinklinal dan sebagainya.
- d. Mata air yang muncul lewat saluran misalnya karena adanya lubang pelarutan seperti pada batu gamping.
- e. Mata air yang muncul dari lava, misalnya yang muncul dari lava yang terpotong oleh permukaan tanah setempat.
- f. Mata air yang muncul dari rekahan/retakan pada batuan, misalnya mata air yang lewat retakan-retakan pada berbagai batuan.

#### 6. Mata air khusus.

Mata air khusus ini terjadi karena dipengaruhi oleh kondisi geologi tertentu sehingga mata airnya mempunyai sifat tertentu pula. contohnya mata air panas geysir, mata air mineral. Mata air panas ini dapat disebabkan karena dekat dengan massa batuan vulkanik yang masih aktif atau belum mendingin atau karena airnya berada jauh di dalam bumi yang tentu saja mempunyai suhu yang lebih tinggi dari suhu dipermukaan bumi atau bisa pula di akibatkan peristiwa kimia (radioaktif).

*Geysir*, adalah mata air panas yang memancarkan airnya keluar secara periodik. Biasanya ditemuka didaerah vulkanik. Hal ini disebabkan karena airnya berasal dari batuan di sekelilingnya. Aktifitas vulkanik akan menimbulkan uap (gelembung gas) dan apabila gas tersebut sudah cukup banyak akan mampu melemparkan air keluar.



*Mata air mineral*, adalah karena mengandung garam terlarut dalam jumlah yang relatif diatas normal. Kandungan garam tersebut dapat berasal dari proses pelarutan dari batuan yang dilewati, air fosil atau mungkin berasal dari penyusupan air laut. Menurut Miller jumlah kandungan garam yang terdapat dalam airtanah tergantung dari jarak perjalan airtanah, jenis batuan yang dilewati, tekanan dan suhu lingkungan serta kandungan gas didalam airtanah tersebut. Contohnya mata air asin (NaCl), mata air jod, mata air belerang, mata air yang kaya dengan bahan organik, hal ini yang menimbulkan warna seperti pelangi pada permukaan air.

## BAB IV. ALIRAN AIRTANAH

### A. Macam Aliran Airtanah

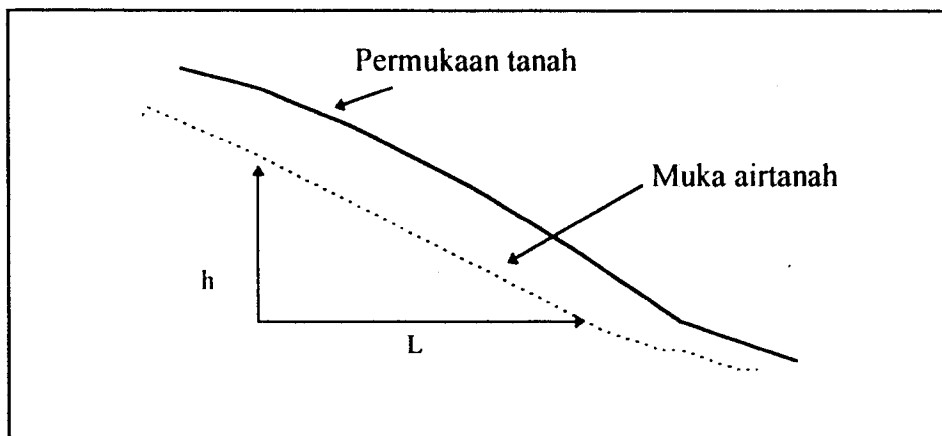
Airtanah mempunyai kecenderungan bergerak dalam bentuk aliran ke arah keseimbangan. Aliran airtanah dapat dibedakan menjadi aliran laminar dan aliran turbulen. Aliran laminar adalah aliran yang partikel-partikel airnya bergerak secara sejajar dengan kecepatan yang relatif lambat. Pada umumnya aliran airtanah yang melalui media berpori bergerak secara laminar. Aliran turbulen adalah aliran yang partikel-partikel airnya bergerak secara berputar sehingga aliran ini merupakan aliran yang bergolak, biasanya mempunyai kecepatan yang besar. Aliran turbulen terjadi pada airtanah yang mengalir lewat rongga-rongga (celah) batuan yang besar. Karena pada umumnya aliran airtanah bergerak secara laminar maka pembahasan selanjutnya diutamakan pada aliran laminar.

Aliran airtanah secara laminar dapat dibedakan menjadi aliran tetap (steady state) dan aliran tidak tetap (unsteady state). Aliran tetap adalah aliran yang tidak berubah-ubah karena waktu sedangkan aliran tidak tetap adalah aliran yang berubah-ubah karena waktu. Kecepatan aliran airtanah tergantung pada grafitasi (landaian hidrolika) dan friksi (gesekan). Grafitasi akan mendorong airtanah bergerak dari tempat yang tinggi ke tempat yang rendah. Besarnya dinyatakan sebagai landaian hidrolika (i).

Landaian hidrolika dapat dinyatakan sebagai :

$$(i) = \frac{dh}{dl}$$

Gambar 4.1 Landaian Hidrolika:



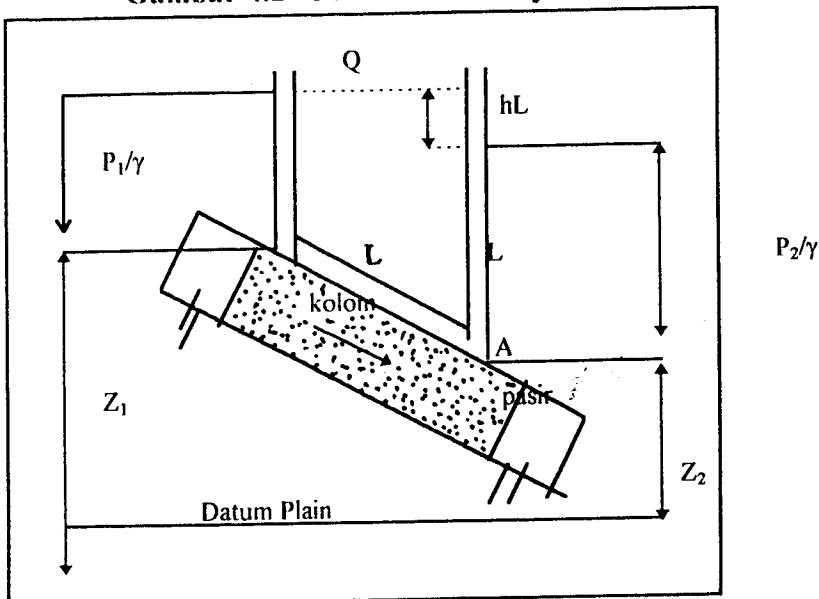
Sedangkan friksi (gesekan) sebagai penghambat lajunya aliran airtanah. Gesekan ada dua jenis yaitu gesekan dalam dan gesekan luar. Gesekan dalam tergantung pada kekentalan air, suhu air, semakin kental airnya semakin lambat alirannya. Gesekan luar tergantung pada partikel-partikelnya. Pada batuan yang berbutir halus akan mempunyai permukaan yang luas sehingga banyak air yang menempel atau melekat pada butiran (gaya adhesi), maka gesekan luarnya semakin besar akibatnya aliran menjadi lambat. Gesekan dapat dinyatakan tergantung pada kesarangan efektif atau kelulusan air. Dengan demikian aliran airtanah tergantung pada landaian hidrolika (hydraulic gradient) dan kelulusan air. Pada umumnya kecepatan aliran airtanah berkisar antara 30 - 60 feet/hari. Pada akuifer yang berupa batu pasir mempunyai kecepatan aliran airtanah sekitar 50 feet/hari, pada akuifer yang berupa kerikil (gravel) dapat mencapai 400 feet/hari. Aliran airtanah di alam sangat bervariasi, tetapi dapat dipelajari karena dikendalikan dengan prinsip-prinsip hidrolika. Aliran airtanah dalam

akuifer (media berpori) akan mengikuti hukum Darcy dan persamaan kontinuitas dapat untuk menjabarkan persamaan aliran airtanah.

### B. Percobaan Darcy.

Pada tahun 1956 Darcy melakukan penyelidikan tentang aliran airtanah melalui media berpori. Hasil percobaan tersebut menyatakan bahwa kecepatan aliran melalui media berpori tergantung dari landaian hidrolika dan kelulusan air. Percobaan darcy dilakukan dengan mengalirkan air dalam kolom pasir berbentuk silinder dengan debit tertentu

Gambar 4.2 Percobaan Darcy



Keterangan :

P = Tekanan

V = Kecepatan alir (cm/dt)

Z = elevasi (cm)

L = Panjang lintasan (cm)

A = Luas penampang kolom pasir (cm<sup>2</sup>)

= specific weight (gr/cc)

g = percepatan, gaya berat (cm/dt<sup>2</sup>)

hL = head loss (kehilangan tenaga sepanjang lintasan L)

Q = debit air yang dialirkan lewat kolom pasir.

Berdasarkan hukum Bernoulli, total energi dari potensial diatas datum plane sbb:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + hL$$

Oleh karena cairannya ideal maka alirannya tetap (steady) dan V nya kecil sekali sehingga

$$\frac{V_1^2}{2g} \text{ dan } \frac{V_2^2}{2g} \approx 0$$

$$\text{Jadi } hL = \left( Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} \right) - \left( Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} \right)$$

Hukum Darcy :

1. Kecepatan aliran air yang melalui suatu peralapisan pasir adalah berbanding lurus pada tekanan dan berbanding terbalik dengan ketebalan lapisan yang dilaluinya (lintasannya)

$$V = \frac{K \cdot hL}{L}$$

V = kecepatan aliran air

K = Konstanta tergantung dari sifat material secara eksperimen untuk tiap jenis material.

hL = perbedaan pucuk air di dua ujung material (head loss)

L = Panjang material / lintasan

K dikenal sebagai permeabilitas atau "*hydraulic conductivity*" atau juga dengan istilah kelulusan air atau daya hantar hidrolika.

2. Besarnya debit pengaliran pada media berpori berbanding lurus dengan kehilangan tinggi tenaga (head loss) dan berbanding terbalik dengan panjang lintasan aliran air.

$$Q \approx \frac{hL}{L}$$

Q = debit pengaliran

hL = head loss

L = panjang lintasan

$$Q = A \cdot V$$

A = Luas penampang

$$Q = K \cdot A \frac{hL}{L}$$

atau secara umum

$$Q = K \cdot A \cdot \frac{dh}{L}$$

$$Q = K \cdot A \cdot i$$

$\frac{dh}{dL} = i =$  landaian hidrolika

Hukum darcy hanya berlaku apabila alirannya laminar. Dalam pipa aliran laminar apabila :

$$NR = \frac{r V D}{\mu} < 1$$

NR = bilangan reynold

V = kecepatan aliran

$\mu$  = kekentalan

r = kerapatan

D = diameter

Untuk aliran melalui media berpori, D adalah diameter rata-rata dari butiran.

$$\text{jadi } D (d) = \sqrt{\frac{\sum n_s d_s}{n_s}}$$

$d_s$  = diameter lubang antara saringan berturut-turut

$n_s$  = banyaknya butiran yang berdiameter  $d_s$ .

Pada batas berapa dari bilangan Reynold sehingga hukum Darcy masih berlaku. dari beberapa percobaan antara lain yang dilakukan oleh *Fanning*, Bilangan Reynold 1 - 10 mulai menunjukkan penyimpangan, sedangkan menurut *Scneebeli*, aliran turbulen terlihat pada bilangan Reynold 60. dan menurut *Hubert* berkisar antara 600 - 700.

Kecepatan aliran airtanah di alam sangat bervariasi dari satu tempat ke tempat lain. Karena kecepatan tersebut mempunyai besar dan arah maka merupakan vektor. Apabila ditinjau secara tiga dimensi, maka vektor kecepatan akan mempunyai tiga komponen masing-masing  $V_x$ ,  $V_y$  dan  $V_z$ . Dengan demikian apabila akuifer mempunyai kelulusan air berbeda beda pada setiap arah aliran atau disebut anisotropis, maka vektor-vektornya dapat dinyatakan dengan:

$$V_x = K_x \frac{\partial h}{\partial x} ; V_y = K_y \frac{\partial h}{\partial y} ; V_z = K_z \frac{\partial h}{\partial z}$$

$K_x$ ,  $K_y$  dan  $K_z$  = Koefisien kelulusan air pada setiap arah sumbu. Untuk memudahkan dalam perhitungan maka dianggap pada semua arah mempunyai kelulusan air sama atau disebut bersifat *isotropis*, sehingga persamaannya menjadi sebagai berikut :

$$V_x = K \frac{\partial h}{\partial x} ; V_y = K \frac{\partial h}{\partial y} ; V_z = K \frac{\partial h}{\partial z}$$

Persamaan ini merupakan pengembangan dari hukum Darcy yang dapat digunakan untuk membantu memecahkan persoalan aliran airtanah selanjutnya.

### C. Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas pada aliran tetap (steady) adalah :

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0$$

Apabila disubstitusikan dengan persamaan yang diatas maka :

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$



Persamaan ini dikenal sebagai persamaan La Place, yang merupakan persamaan diferensial parsial untuk aliran yang tetap didalam akuifer homogen dan isotropis.

Untuk aliran tidak tetap (unsteady) perlu diperhatikan mengenai koefisien daya simpan air. Persamaan kontinuitas dari hasil penjabaran rumus-rumus di atas didapatkan sebagai berikut :

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{S}{Kb} + \frac{\partial h}{\partial t}$$

S = Koefisien daya simpan air (koefisien cadangan)

K = Koefisien kelulusan air

b = Ketebalan akuifer

t = Waktu

Persamaan ini dikenal sebagai persamaan *diffusi* yang merupakan persamaan differensial parsial secara pendekatan untuk aliran tidak tetap. Dengan anggapan akuifernya homogen dan isotropis maka persamaan tersebut dapat digunakan.

Dengan menggunakan persamaan kontinuitas dan hukum Darcy dapat dipakai sebagai dasar untuk menyelesaikan persoalan aliran airtanah.

#### **D. Sifat Batuan Sebagai Media Aliran Airtanah**

Batuan yang bertindak sebagai media aliran airtanah mempunyai sifat kelulusan air, kapasitas jenis, keterusan air, daya simpan air (cadangan air).

1 Koefisien Kelulusan Air (*Coefisien of Permeability/ Hydraulic Conductivity*).

Koefisien kelulusan air adalah kemampuan rongga-rongga batuan untuk meluluskan air tanpa mengubah sifat-sifat airnya. Kelulusan air ini sangat dipengaruhi oleh kesarangan dan sifat cairan yang melaluinya. Menurut Hukum Darcy, koefisien kelulusan air dinyatakan sebagai :

$$K = \frac{Q}{A \cdot dh/dL} = \frac{L^3/T}{L^2 \cdot L/L} = \frac{L}{T}$$

Koefisien kelulusan air terdiri dari koefisien kelulusan air dilapangan (Kf) dan koefisien kelulusan air di laboratorium atau standart (Ks).

Koefisien kelulusan air merupakan fungsi dari kekentalan ( $\mu$ ), specific gravity ( $\gamma$ ) dan diameter antar butir (d)

$$K = c \frac{d^2 \gamma}{\mu}$$

Kalau kita anggap faktor yang mempengaruhi dari alam

$$k = cd^2$$

k = spesifik (Patrinsik) permeabilitas

$$Q = K \cdot \frac{dh}{dL} \cdot A$$

$$K = \frac{k\gamma}{\mu}$$

$$Q = \frac{k\gamma}{\mu} \cdot \frac{dh}{dL} \cdot A$$

$$k = \frac{\mu Q/A}{\gamma (dh / dL)}$$

k dinyatakan sebagai satuan luas, karena harga k ini sangat kecil maka oleh US Geological Survey dinyatakan dalam mikro meter ( $\mu\text{m}^2$ ) sama dengan  $10^{-12}\text{m}^2$  atau dinyatakan dalam satuan Darcy.

$$1 \text{ darcy} = \frac{\frac{1 \text{ centi poise} \times 1 \text{ cm}^3/\text{dt}}{1 \text{ cm}^2}}{1 \text{ atmosfer} / 1 \text{ cm}}$$

$$1 \text{ centi poise} = 0,01 \text{ poise} = 0,01 \text{ dyne detik}/\text{cm}^2$$

$$1 \text{ atmosfer} = 0,0132 \cdot 10^6 \text{ dyne} / \text{cm}^2$$

$$1 \text{ darcy} = 0,987 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^2$$

$$= 1,062 \cdot 10^{-11} \text{ ft}^2$$

$$= 18,2 \text{ Ks.}$$

Tabel 4.1 Hubungan antara k, Ks, macam batuan dan sifatnya terhadap aliran airtanah k ( darcy)

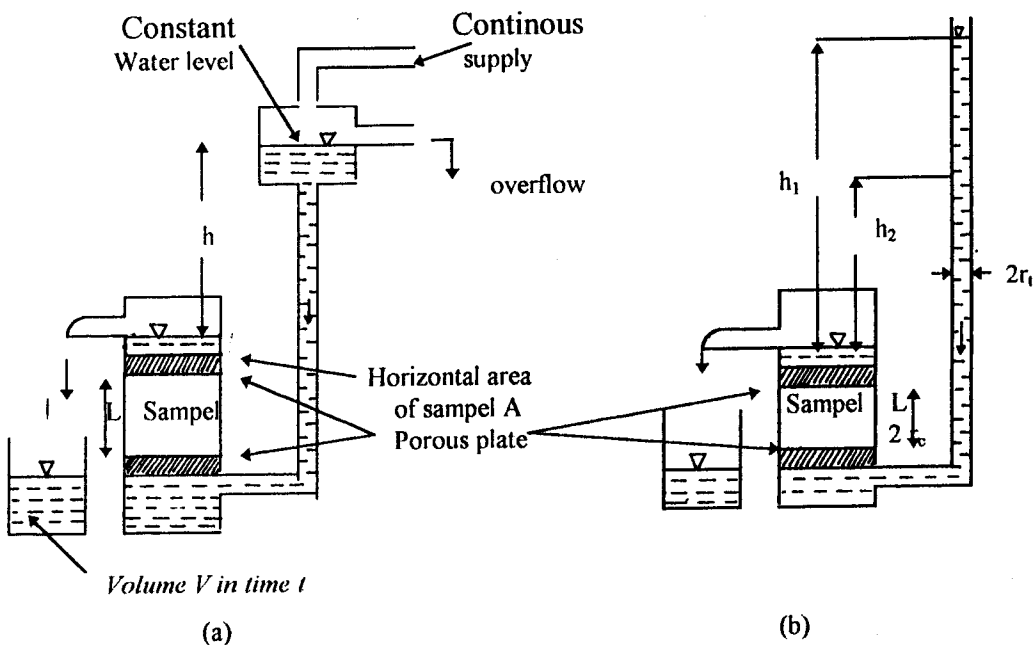
	$10^5$	$10^4$	$10^3$	$10^2$	$10^1$	1	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$
Macam Batuan	kerikil bersih	pasir bersih, campuran pasir dengan kerikil					pasir sangat ha lus, silt campur an pasir, silt, lempung dan lempung berla pis				lempung
Karakteristik Aliran	Akuifer baik				Akuifer jelek			Kedap air			
	$10^6$	$10^5$	$10^4$	$10^3$	$10^2$	$10^1$	1	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$
	Ks (gal/hari/ft <sup>2</sup> )										

Tabel 4.2 Harga K (koefisien kelulusan air) dari berbagai macam Batuan menurut Morris & Johnson, 1967 dan menurut Todd, 1980

Macam Batuan	K (m / hari)	Macam batuan	K (m / hari)
Kerikil Kasar	150	Lempung	0,0002
Kerikil Menengah	270	Batu Gamping	0,94
Kerikil	450	Dolomit	0,001
Pasir kasar	45	Sekis	0,2
Pasir Menengah	12	Batu Sabak	0,00008
Pasir Halus	2,5	Tuff	0,2
Batupasir menengah	3,1	Basalt	0,01
Batupasir Halus	0,2	Gabro lapuk	0,2
Silt	0,08	Granit Lapuk	1,4

## 2. Pengukuran harga K (koefisien kelulusan air)

Pengukuran harga K dapat dilakukan di laboratorium maupun langsung dilapangan. Pengukuran di laboratorium dengan menggunakan alat permeameter. Alat ini ada dua yaitu *Constant Head Permeameter* dan *Falling Head Permeameter*.



Gambar 4.3 Permeameter untuk pengukuran Hydraulic Conductivity sampel geologi

(a) Constant head, (b) Falling head (Todd, 1980)

Constan Head Peameter :

Cara kerjanya yaitu contoh batuan (c) dimasukkan kedalam tabung (b) dibatasi dengan pelat porous, air di isi kedalam tabung a sehingga beda tinggi muka air dalam tabung a dan b adalah h. Keadaan ini di usahakan konstant dalam waktu percobaan (t detik). Percobaan dimulai dengan mencatat waktu mulai hingga akhir (lama percobaan t detik) catat volume air yang tertampung dalam satuan meli liter (ml). Percobaan dilakukan beberapa kali dan diambil rata-ratanya.

Berdasarkan hukum Darcy :

$$V = K \cdot i \qquad K = h/L$$

$$\text{Volume (V)} = Q \cdot t$$

$$V = \frac{K \cdot h \cdot A \cdot t}{L}$$

$$K = \frac{VL}{Ath}$$

Cara kerja "Falling Head Permeameter", seperti halnya dengan cara di atas hanya pada waktu percobaan air tidak di isikan terus tetapi diabiarkan turun pada tabung a. Percobaan ini juga dilakukan beberapa kali.

Berdasarkan hukum Darcy :

$$Q = A \cdot K \cdot h/L \qquad V = K \cdot h/L$$

Kecepatan turun muka air pada tabung a = dh/dt

jadi :

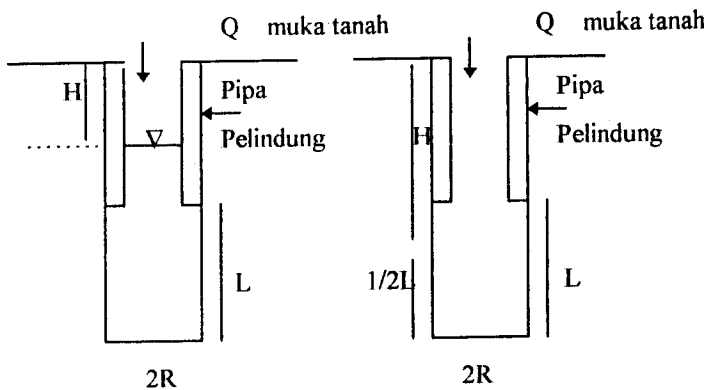
$$AK \frac{h}{L} = - a^1 \frac{dh}{dt}$$

$$\Delta K \frac{dt}{L} = -a' \frac{dh}{h}$$

$$K \frac{A}{L} \int_a^t dt = -a' \int_{h_0}^{h_1} \frac{dh}{h}$$

$$K = 2,3 \frac{a'L}{At} \log \frac{h_0}{h_1}$$

Selain percobaan di laboratorium, pengukuran harga K dapat dilakukan langsung dilapangan, ada beberapa cara antara lain uji perkolasi, uji peker, uji pompa. Untuk uji pompa (pumping test) dilakukan pada lubang bor atau pada sumur uji. Dari lubang bor ditentukan zona yang akan di uji, bagian yang tidak diuji ditutup dengan pipa. zona pengujian yang terletak diatas muka airtanah dan yang terletak dibawah muka airtanah seperti gambar dibawah ini :



Gambar 4.4 Uji perkolasi dengan zona pengujian terletak dibawah muka airtanah.

Gambar 4.5 Uji perkolasi dengan zona pengujian terletak diatas muka airtanah.

Q = debit air yang diberikan secara tetap dalam keadaan setimbang (constant-head)

H = Jarak muka airtanah sampai ujung pipa

L = Zona pengujian

R = Jari-jari dasar lubang sumur

Pelaksanaannya lubang bor harus bersih. Air bersih dimasukkan kedalam lubang-lubang bor sampai penuh dan dijaga agar tetap konstant. Keadaan setimbang ini dipertahankan sampai kira-kira 5 menit. Dan dicatat besarnya debit air yang dimasukkan. Pekerjaan ini di ulangi beberapa kali supaya hasilnya lebih tepat. Rumus yang digunakan adalah :

$$K = \frac{2,3 Q}{2\pi LH} \log \frac{L}{R}$$

K = Koefisien kelulusan air (cm/dt)

Q = Debit air yang dimasukkan kedalam lubang bor (cm<sup>3</sup>/dt)

R = Jari-jari dasar lubang bor (cm), syaratnya L harus  $\geq 10R$

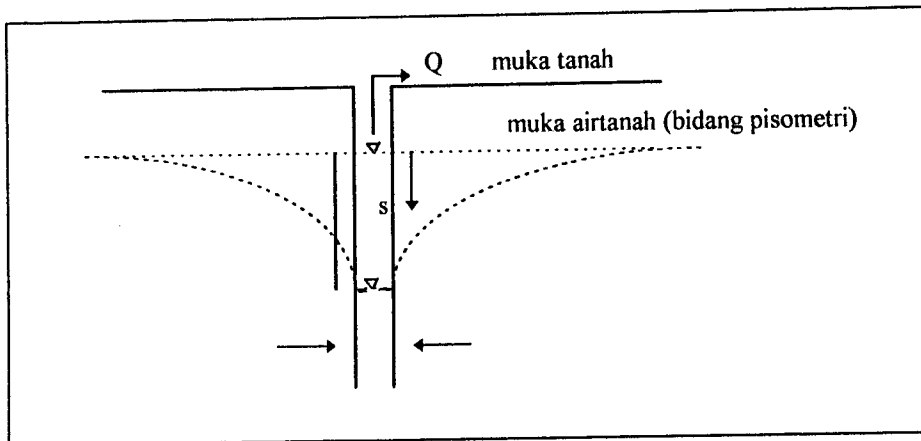
H = Perbedaan tinggi.

Dengan cara ini dapat dilakukan pengujian pada setiap kedalaman. Kesulitan yang timbul sering air yang dimasukkan kedalam zona pengujian merembes pula pada zona yang tidak di uji lewat lubang antara pipa dengan dinding batuan. Test peker ada dua macam yaitu peker tunggal dan peker ganda.

Pengukuran harga K pada eksplorasi airtanah biasanya dengan uji pemompaan, sedangkan uji perkolasi maupun uji peker biasanya digunakan dalam penyelidikan geologi teknik.

3. Kapasitas Jenis, Koefisien keterusan air dan koefisien daya simpan air (koefisien cadangan air)

Kapasitas jenis atau "specific capacity" adalah debit air yang dapat diperoleh setiap penurunan permukaan airtanah bebas ataupun airtanah tertekan, sepanjang satu satuan panjang dalam satu sumur pompa pada akhir periode pemompaan.



Gambar 4.6 Penurunan Muka Airtanah Pada Pemompaan  
dimana :

$Q$  = Debit pomompaan (konstant)

$s$  = Drawdown (penurunan muka airtanah atau bidang pisometrik akibat pemompaan)

Kapasitas jenis ( $SQ$ ,  $Sc$ ) dapat ditentukan dengan rumus seperti dibawah ini :

$$SQ = Q/s$$

Satuan  $SQ$  adalah  $L^3/T/L = L^2/T$ . Secara sederhana dengan  $SQ$  dapat untuk menentukan besarnya debit pemompaan.



Koefisien keterusan air atau coefficient of transmissibility atau coefficient transmissivity (T) adalah : banyaknya air tanah yang dapat mengalir melalui suatu bidang vertikal setebal akuifer, selebar satu satuan panjang dengan landaian hidrolika 100%.

Harga T dapat ditentukan dengan uji pemompaan, dengan didapatkan harga T maka dapat dihitung harga K nya dengan rumus:

$$T = K \cdot b$$

T = Koefisien keterusan air

K = Koefisien kelulusan air

b = Tebal akuifer

Satuan harga T adalah  $L^3/t/L = L^2/t$ . dimana : t : waktu dan L : panjang).

Harga T sekitar 5 m<sup>3</sup>/jam/m dari satu sumur dapat untuk mensuplai air minum. Harga T sekitar 50 m<sup>3</sup>/jam/m dari suatu sumur dapat dipakai untuk irigasi, industri besar.

Koefisien daya simpan air atau koefisien cadangan air atau coefficient of storage (S) adalah volume air yang dilepaskan atau dapat disimpan oleh suatu akuifer setiap satu satuan luas akuifer pada satu satuan perubahan kedudukan muka airtanah baik airtanah bebas ataupun airtanah tertekan. Harga S tidak mempunyai satuan, dengan harga S dapat untuk menentukan jenis akuifernya disamping dapat untuk menghitung jumlah kandungan airtanah di suatu daerah.

## **BAB V. KUALITAS AIRTANAH**

Kualitas airtanah merupakan faktor yang penting disamping faktor kuantitas. Permasalahan kualitas airtanah tidak saja penting untuk keperluan penyediaan air sehari-hari seperti air minum tetapi juga untuk keperluan yang lain, misalnya penyediaan air irigasi, industri dan lain sebagainya. Sesuai dengan keperluan pemakai air tersebut diperlukan persyaratan tertentu sebagai standart kualitasnya.

### **A. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kualitas Airtanah**

Kualitas airtanah dapat dipandang sebagai suatu sistem (Engelen, 1981) yang terdiri dari tiga komponen atau subsistem yaitu material (macam tanah, batuan), macam pengaliran (transport) dan proses perubahannya. Macam tanah, batuan yang mengandung airtanah atau yang dilewati airtanah tergantung antara lain pada pola ruang, komposisi kimia, dan ke isotropisan.

Macam aliran airtanah misalnya aliran laminar, turbulen, konveksi, dispersi, dan difusi, sedangkan proses perubahan terdiri dari atas perubahan yang sesuai dengan hukum-hukum fisika, kimia, biologi atau segala proses yang mengakibatkan perubahan kualitas. dengan demikian dari kualitas airtanah tersebut dapat untuk mengetahui sejarah, proses terjadinya, perkembangannya, atau dapat menginterpretasi kedalam geologi / hidrogeologinya.

Pada umumnya airtanah berasal dari air permukaan yang meresap masuk kedalam tanah. Mula-mula pada horizon A yang kaya akan bahan organik bereaksi

dengan  $O_2$  yang berasal dari atmosfer atau dari tanah itu sendiri akan menghasilkan  $CO_2$ .  $CO_2$  bereaksi dengan  $H_2O$  menghasilkan  $H_2CO_3$ . Air yang mengandung  $H_2CO_3$  ini akan bereaksi dengan mineral-mineral tanah pada horizon B yang kaya dengan oksida besi, lempung, dan humus, melalui proses biokimia dan hidrokimia akan merupakan sumber keasaman. airtanah yang mengalir pada akuifer dan akan terjadi penambahan jumlah garam terlarutnya. Pada zona atas, airtanah mengalir dengan cepat dan kaya kandungan  $HCO_3^-$  tetapi jumlah garam terlarutnya sedikit. Pada zone tengah terjadi sirkulasi airtanah yang kurang aktif dengan jumlah garam terlarutnya semakin bertambah, kandungan sulfat dominan.. Pada zona bawah, aliran airtanahnya lambat dengan konsentrasi Cl maupun jumlah garam terlarutnya besar. Air yang kaya akan Cl pada zona bawah biasanya sangat tua atau karena terkena pengaruh penyusupan airlaut. Perkembangan ion pada airtanah tergantung pada mineral “availability” dan “mineral solubility” nya. Hubungan antara ion penyusun airtanah dengan mineral menurut Davis dan De Wiest adalah sebagai berikut:

1. *Kalsium*, diperoleh dari batuan endapan laut yang kaya dengan mineral kalsit, dolomit, arogonit, anhidrit, gips atau dari pelapukan batuan beku dan batuan ubahan misalnya dari mineral apatit, wolastonit, fluorit, felspar, amphibol, piroksin dan sebagainya.
2. *Magnesium*, diperoleh dari mineral dolomit, olivin, biotit, hornblende, augit, serpentin, talk, diopsid dan tremolit.
3. *Natrium*, diperoleh dari pelapukan mineral plagioklas, mineral lempung, nefelin, sodalit, natrolit, glaukohan.

4. *Kalium*, diperoleh dari pelapukan mineral ortoklas, mikroklin, biotit, lausit, silvit, dan niter.
5. *Besi, mangan*, diperoleh dari mineral piroksin, amphibol, magnetit, pirit, mineral lempung.
6. *Klorida*, terutama berasal dari air laut purba yang terjebak pada waktu pengendapan terbentuk, mineral hasil evaporasi, penyusutan airlaut, mineral sodalit, apatit, mika dan horblende.
7. *Sulfat*, diperoleh dari endapan evaporasi atau dari oksidasi mineral pirit, markasit, gas-gas pada daerah vulkanik waktu.
8. *Bikarbonat*, karbonat dapat berasal dari karbondioksida yang berada di atmosfer, tanah atau dari pelarutan batuan karbonat.
9. *Nitrat*, dapat berasal dari bahan-bahan organik atau sebagai hasil akhir stabilisasi aerobik zat-zat yang mengandung nitrogen organik.
10. *Silika*, diperoleh dari mineral kwarsa dan berbagai mineral lempung, mineral silikat. Pada batuan vulkanik, batuan beku kadar silika pada airtanah umumnya tinggi.

Macam-macam pengaliran airtanah menurut Engelen dapat dibedakan menjadi beberapa aliran antara lain aliran *konveksi*, aliran *dispersi* dan aliran *difusi*.

Pengaliran konveksi yang cepat terjadi pada rekahan, retakan, pori-pori yang besar dan sebagainya. Pada zona jenuh air efek yang serentak dari aliran yang beragam kurang penting baik yang disebabkan oleh pengurangan laju aliran maupun

penambahan ruang dan waktu. Dibagian atas yang dangkal merupakan daerah dengan pengaliran konveksi yang tinggi melebihi efek pengaliran dispersi maupun difusi. Pada zona tengah dan bawah dimana aliran pada kaki yang turun dari sistem aliran, pengaliran konveksi berkurang dan dispersi secara erlahan menjadi lebih penting. Akhirnya pada bagian bawah hanya aliran difusi saja. Tempat dan waktu sepanjang aliran tidak tetap tetapi perubahannya secara sistematis dari pendek dibagian atas pada kaki yang turun, lalu panjang pada bagian tengah dan pendek lagi pada bagian kaki yang naik dari sitem tersebut. Secara praktis, perkembangan kualitas airtanah yang khas sepanjang garis aliran disebabkan karena ragam pengalirannya yang tergantung pada lokasi apabila akuifernya homogen. Keadaan ini akan menjadi kompleks jika densitas atau suhunya berbeda, demikian pula halnya dengan ruang dan waktu. Selanjutnya faktor proses perubahan baik proses perubahan biologis, khemis maupun fisis. Evaluasi data lapangan dan laboratorium akan memberikan informasi yang berhubungan tentang aspek kualitas pada sistem airtanah, walaupun banyak perubahan dibawah kondisi lapangan masih sedikit diketahui dengan pasti.

## **B. Sifat Fisis, Khemis dan Biologis Airtanah.**

Kualitas airtanah ditentukan oleh tiga sifat utama yaitu : a. sifat fisis, b. sifat khemis dan c. sifat biologis (bakteriologis).

### **1. Sifat Fisis.**

Sifat fisis antara lain adalah warna, bau, dan rasa, kekentalan, kekeruhan dan suhu.

- a. *Warna airtanah*, ini dapat disebabkan oleh adanya zat-zat yang terkandung didalamnya baik yang berupa suspensi maupun yang terlarut. Untuk menentukan warna tersebut digunakan skala Pt-Co.
- b. *Bau dan Rasa*, bau ini dapat disebabkan oleh zat-zat atau gas-gas yang mempunyai aroma yang terkandung di dalam air. Rasa ditentukan oleh adanya garam atau zat lain baik yang tersuspensi ataupun yang terlarut.
- c. *Kekentalan*, dipengaruhi oleh partikel-partikel yang terkandung didalamnya, semakin banyak partikel-partikel yang dikandung air maka akan semakin kental air tersebut. Disamping itu apabila suhunya semakin tinggi maka kekentalannya akan semakin berkurang (encer).
- d. *Kekeruhan*, ini dikarenakan adanya zat-zat yang dikandung tetapi tidak terlarutkan. Contohnya lempung, lanau juga zat-zat organik serta mikroorganisma. Alat untuk mengukur kekeruhan adalah turbidimeter.
- e. *Suhu*, ini dipengaruhi oleh keadaan sekelilingnya seperti musim, cuaca, siang dan malam, tempat atau lokasinya. Pengukurannya adalah dengan termometer.

## 2. Sifat Khemis.

Sifat khemis antara lain adalah kesadahan, jumlah garam terlarut (*total dissolved solid*), daya hantar listrik (*electric conductance*), ke asaman, dan kandungan ion.

- a. Kesadahan atau kekerasan (*total hardness/Hr*) adalah disebabkan oleh kandungan Ca dan Mg. Kesadahan ada dua macam yaitu kesadahan karbonat dan kesadahan non karbonat. Untuk menentukan besarnya kesadahan dapat dilakukan dengan

titrasi dengan satuan bpj (bagian perjuta) atau ppm (part per million)  $\approx$  mg/l atau dengan  $^{\circ}\text{D}$  yang besarnya  $1^{\circ}\text{D} = 10 \text{ mg/l (CaO)}$ .

$$\text{Hr (kesadahan)} = \text{Ca} \times \frac{\text{CaCO}_3}{\text{Ca}} + \text{Mg} \times \frac{\text{CaCO}_3}{\text{Mg}}$$

$$\text{Hr} = 2,5 \text{ Ca} + 4,1 \text{ Mg}$$

Ca dan Mg dalam mg/l

Klasifikasi air berdasarkan kesadahan adalah seperti tabel berikut dibawah ini.

Tabel 5.1 Klasifikasi Air Berdasarkan Harga Kesadahannya Menurut Hem (Bouwer, 1978) Dan Menurut Sawyer & Mc Carty (Todd, 1995).

No.	Kesadahan ( mg/l CaCO <sub>3</sub> )		Kelas air
	Hem	Sawyer & Mc Carty	
1.	0 - 60	0 - 75	lunak
2.	61 - 120	75 - 150	menengah
3.	121 - 180	150 - 300	keras
4.	> 180	> 300	sangat keras

b. Jumlah garam terlarut atau total dissolved solid adalah jumlah konsentrasi garam yang terkandung di dalam air. Klasifikasi air berdasarkan jumlah garam terlarutnya menurut Hem (Bouwer, 1978) adalah seperti pada tabel dibawah ini.

Tabel 5.2 Klasifikasi Air Berdasarkan Jumlah Garam Terlarut Menurut Hem (Bouwer, 1978).

No.	Jumlah Garam Terlarut (mg/l)	Jenis Air
1.	< 1.000	Tawar (fresh)
2.	3.000 - 10.000	Masin (moderately saline)
3.	10.000 - 35.000	Sangat Asin (very saline)
4.	> 35.000	Asin (briny)

Sedangkan menurut Davis dan De Weist 1966 memberikan klasifikasi seperti pada tabel dibawah ini.

Tabel 5.3 Klasifikasi Air Berdasarkan Jumlah Garam Terlarut, Menurut Davis & De Weist. (Todd 1995)

No.	Jumlah Garam Terlarut (mg/l)	Jenis Air
1.	< 1.000	Tawar (fresh)
2.	1.000 - 10.000	Payau (brackish)
3.	10.000 - 100.000	Salty
4.	> 100.000	Briny

Sebagai perbandingan bahwa jumlah garam terlarut dari airlaut adalah sekitar 34.000 mg/l dan larutan NaCl jenuh lebih dari 300.000 mg/l. Jumlah garam terlarut dapat didekati dengan harga daya hantar listrik (DHL = EC).

c. Daya hantar listrik (electric conductivity) adalah sifat menghantarkan listrik dari air.

Air yang banyak mengandung garam akan mempunyai daya hantar listrik yang tinggi. Pengukurannya dengan EC mater, karena satuannya sangat kecil maka digunakan satuan mikrosiemen ( $\mu\text{S}/\text{Sm}$ ) atau mikromhos ( $\mu\text{mho}/\text{Sm}$ ). Daya hantar listrik ini di ukur pada waktu standard yaitu  $25^\circ\text{C}$ . Apabila pengukurannya diatas atau dibawah standart maka harus dilakukan koreksi yaitu dengan menggunakan rumus dibawah ini:

$$\text{DHL } 25^\circ\text{C} = \frac{\text{DHL } T^\circ\text{C}}{1 + 0.02 (t - 25)}$$

Airtanah pada umumnya mempunyai harga 100 s/d 5.000  $\mu\text{S}/\text{Sm}$ . Besar daya hantar listrik dapat di konversikan dengan besaran jumlah garam terlarut (mg/l) yaitu:

$$1\text{mho}/\text{Sm} (10^3 \mu\text{mho}/\text{Sm}) = 640 \text{ mg/l}$$

atau



$$1 \text{ mg/l} = 1,56 \mu\text{S/Sm.}$$

Harga konversi tersebut sebenarnya bermacam-macam tergantung dari jenis garamnya, yaitu 1 mili mho/Sm berkisar antara 450 mg/l untuk garam MgCl sampai 1.000 mg/l untuk garam Na HCO<sub>3</sub>. Klasifikasi air berdasarkan daya hantar listrik adalah seperti tabel dibawah ini :

Tabel 5.4 Klasifikasi Air Berdasarkan Harga Daya Hantar Listrik (DHL).

No.	DHL ( $\mu\text{mho/Sm}$ pada 25°C)	Jenis Air
1.	0,055	Air murni
2.	0,5 - 5,0	Air suling
3.	5,0 - 30	Air hujan
4.	30 - 2.000	Airtanah
5.	35.000 - 45.000	Airlaut

d.Keasaman, air sebagai zat pelarut akan melarutkan semua zat yang ada padanya baik itu bersifat asam, basa ataupun netral. apabila air banyak mengandung unsur yang bersifat asam maka air itu akan asam. Derajat keasaman dinyatakan dengan pH yang berkisar antara 1 - 14. Air yang mempunyai pH < 7 adalah asam, disini air tersebut mengandung ClO<sub>2</sub> berlebihan. Ion bikarbonat masih dapat dijumpai pada air yang mempunyai pH 4,5. Air yang asam sangat mudah melarutkan Fe sehingga air yang asam biasanya mempunyai kandungan besi yang tinggi. pH lebih besar dari 7 mempunyai sifat basa. Air yang mengandung garam Ca atau Mg karbonat, bikarbonat yang banyak mempunyai pH sekitar 7,5 - 8. Sedangkan air yang mempunyai pH 7 adalah netral. Pengukuran pH adalah dengan pH meter.

e. Kandungan ion, baik yang berupa kation, anion atau ion logam. Untuk mengetahui besarnya ion-ion yang terkandung didalam air dapat dilakukan dengan voltmeter, calorimeter, flame fotometri, spektrofotometri. Ion-ion penting antara lain Na, K, Ca, Mg, Al, Fe, Mn, Cu, Zn, Cl, SO<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, F, NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, KMnO<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub>, boron disamping itu ion-ion logam yang biasanya jarang ada akan tetapi ion-ion ini bersifat sebagai racun antara lain As, Pb, Se, Cr, Cd, Hg, dan Co.

### **3. Sifat Biologis (Bakteriologis)**

Kandungan biologis didalam air terutama adalah bakteriologis. Untuk menghitung besarnya kandungan bakteri Coli dengan cara pendekatan dengan menggunakan daftar MPN dari Hoskins. Caranya yaitu dengan 15 tabung yang setiap 5 tabung di isi 10 ml, 1 ml dan 0,1 ml. Pada masing-masing tabung ditambahkan beberapa tetes *lauryl tryptose troth* kemudian di inkubasikan selama 48 jam pada suhu 35oC. Dicatat tabung-tabung mana yang mengeluarkan gas atau disebut positif. Dengan menggunakan daftar MPN dapat diketahui jumlah bakteri colinya dalam 100 ml air.

### **C. Kualitas Airtanah di Beberapa Macam Batuan.**

Kualitas airtanah merupakan suatu sistem dengan komponen-komponen sistem yang saling berinteraksi sehingga sangat dimungkinkan perbedaan-perbedaan kualitas airtanah di setiap tempat. Walaupun demikian secara umum bahwa kualitas airtanah mempunyai sifat-sifat yang khas di setiap jenis atau macam batuan.

## 1. Kualitas Airtanah Pada batuan Ubahan dan Batuan Beku Dalam

Kualitas airtanah pada kedua batuan ubahan ini pada umumnya baik, kecuali yang terdapat didaerah kering sehingga garam-garam akan terkonsentrasi akibat penguapan, juga dimana pada tempat-tempa air fosil atau penyusupan air laut lewat retakan batuan. Pada dolomit dan marmer akan mempunyai kesadahan sedang sampai tinggi. Pada serpentinit, gabro, amphibolit dan sejenisnya mempunyai kadar magnesium lebih tinggi dibandingkan kadar kalsium. Batuan diorit, syenit memiliki kandungan kuarsa rendah, tetapi mineral silikatnya yang lebih mudah larut sehingga kadar  $\text{SiO}_2$  yang terlarut didalam airtanah dapat mencapai 25 - 55 bpj. Menurut Le Grand (Davis & De Tiest, 1966) menyatakan bahwa di North Carolina, air yang berasal dari granit, gneis, sekis mika, riolit cenderung bersifat asam dan jumlah garam terlarutnya mencapai 71 bpj dengan kesadahan 23 bpj. Berbeda dengan air yang berasal dari gabro, diorit, gneis hornblende, mempunyai jumlah garam terlarutnya sebesar 233 bpj dengan kesadahan 145 bpj.

## 2. Kualitas Airtanah Pada Batuan Vulkanik.

Pada umumnya airtanah yang berasal dari batuan vulkanik mempunyai kualitas yang baik dan cenderung sebagai air kalsium magnesium-bikarbonat. Pada batuan vulkanik yang bersifat asam, airnya sebagai air natrium-bikarbonat dengan kadar  $\text{SiO}_2$  nya tinggi. Kualitas air yang jelek dijumpai pada sumber air hangat atau fumarol dimana kadar natrium dan kloridanya tinggi dengan pH rendah. Disamping itu juga di daerah pantai yang terjadi penyusupan air laut, didaerah gurun yang penguapannya sangat tinggi.

### 3. Kualitas Airtanah Pada Batuan Endapan

Airtanah disini mempunyai kualitas yang beragam mulai dari air yang asin sampai dengan air yang kandungan jumlah garam terlarutnya kurang dari 100 bpj. Airtanah yang letaknya jauh dibawah permukaan bumi mempunyai kadar yang semakin jelek. Pada serpih umumnya mempunyai kandungan besi dan fluoridanya cukup tinggi dengan pH rendah berkisar antara 5,5 - 7. Pada batuan gamping mempunyai kandungan silika yang rendah, kalsium dan magnesiumnya melimpah dengan pH lebih besar dari 7. Sedangkan pada batu pasir kualitas airtanahnya beragam tergantung dari komposisi mineral, kedalaman akuifer, jauh dekatnya pengaliran dan sebagainya tetapi pada umumnya berupa air yang baik.

### 4. Kualitas Airtanah Pada Batuan Endapan.

Kualitas airtanah pada lembah sungai pada umumnya baik kecuali di daerah gurun dan daerah yang telah berkembang dengan pesat. Kualitas airtanah disini sangat dipengaruhi oleh air yang masuk kedalam akuifer, tumbuh-tumbuhan kultur dan tipa batuan ditepi sungai dan dasar lembah. Airtanah pada lembah yang sangat luas yang terjadi akibat tektonik memiliki kualitas yang beragam. Air asin yang berasal dari laut purba atau hasil penguapan terdapat pada akuifer yang dalam atau cekungan besar yang tertutup. Disini air asin atau payau dapat terletak dekat permukaan. Dilembah yang mempunyai penyaluran air yang bagus sepanjang sejarah geologi akan mempunyai kualitas airtanah yang baik. Penyaluran terbuka akan mencegah teronggoknya air garam yang disebabkan oleh penguapan dan membantu peredaran airtanah yang akan menggerakkan air fosil bermigrasi. Kualitas airtanah pada endapan

yang berasal dari batuan endapan akan banyak mengandung Ca, Mg, CO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, sedangkan ion Cl nya tergantung dari pencuciannya (*leaching*). Pada endapan yang berasal dari batuan ubahan atau batuan beku dalam mempunyai jumlah garam terlarutnya relatif rendah, demikian pula kadar SO<sub>4</sub> dan Cl nya akan tetapi kadar SiO<sub>2</sub> nya melimpah terutama yang berasal dari batuan vulkanik. Pada dataran pantai, airtanahnya mempunyai kandungan jumlah garam terlarutnya sedikit akan tetapi ion Na, Ca dan HCO<sub>3</sub> sangat melimpah didekat permukaan, makin dalam kandungan SO<sub>4</sub>, Ca, Mg nya rendah sedangkan Na dan HCO<sub>3</sub> tetap dominan. Pada daerah yang terjadi penyusupan airlaut, kadar SiO<sub>2</sub> nya rendah dan SO<sub>4</sub> lebih tinggi dibandingkan dengan air fosil sedangkan ion yang melimpah adalah Na, Cl.

#### D. Interpretasi Geologi Dari data Kualitas Airtanah.

Untuk keperluan interpretasi ini cukup dari ion-ion penyusun utama saja baik berupa kation maupun yang berupa anion. *Kation* nya terdiri atas; kalsium, magnesium, natrium, kalium, ferum, dan mangan. Sedangkan *Anion* nya terdiri atas ; Clorida, sulfat, bikarbonat, karbonat, nitrat dan kadang-kadang florida. Selain dari itu juga kadar SiO<sub>2</sub>, jumlah garam terlarut atau daya hantar listrik, suhu, pH. Satuan bpj dari ion-ion tersebut harus diubah menjadi epj (ekuivalen per juta) yaitu dengan :

$$epj = \frac{\text{valensi} \times \text{bpj}}{\text{berat atom}}$$

atau

$$epj = \frac{\text{valensi} \times \text{bpj}}{\text{berat molekul}}$$

Prinsip interpretasi ini didasarkan pada hubungan ion-ion penyusun airtanah dan sangat berguna untuk tujuan klasifikasi, korelasi, analisis, sintesis dan ilustrasi (Zaporazec, 1972). jumlah kation dalam satuan epj sama dengan jumlah anion dalam epj atau perbedaannya harus kecil (kurang dari 5%). Kalau perbedaan ini lebih besar dari 5% maka harus diulangi lagi analisis laboratoriumnya atau bila perlu diambil lagi contoh airnya untuk dianalisis di laboratorium. Kalau terlalu lama kemungkinan kualitas airtanahnya sudah berubah. Metoda klasifikasi yang dikemukakan oleh kurlov, sangat praktis dan dengan cepat dapat menentukan klas airnya. Penamaan kelas air ditentukan oleh kandungan ion-ion yang mempunyai jumlah  $\geq 25\%$ . Contoh klasifikasi dari airtanah yang diambil di beberapa tempat dengan kondisi geologi yang berbeda seperti pada tabel 5.5 dibawah ini (Suharyadi, 1984)

Metode korelasi antara lain dengan menggunakan diagram pola stiff dapat untuk menghubungkan atau mengkorelasikan kualitas airtanah secara tegak pada suatu lubang bor mulai dari airtanah teratas sampai yang terbawah atau secara mendatar pada akuifer yang sama. Melalui diagram stiff dapat diambil kesimpulan antara lain bahwa ion-ion baik kation dan anion berkembang semakin membesar sesuai dengan arah aliran airtanahnya.

Metode analisis antara lain dengan menggunakan diagram Trilinier Piper, metode ini merupakan metode yang terpenting untuk studi genetik airtanah, ini sangat efektif dalam pemisahan analisis data bagi studi kritis terutama mengenai sumber unsur penyusun terlarut dalam airtanah, perubahan atau modifikasi sifat-sifat air yang melewati suatu wilayah tertentu serta hubungannya dengan problema-problema

geokimia. Diagram ini terdiri dari dua segitiga samasisi yang terletak dibawah kanan dan kiri masing-masing segitiga untuk pengeplotan kation di suatu pihak dan anion dipihak lain.

Tabel 5.5 Penentuan Kelas air Dengan Metoda Klasifikasi Kurlov Dari Contoh Airtanah di Daerah Jawa tengah (suharyadi, 1984)

LOKASI		Wonosari (batugamping)		Yogyakarta (endapan vulkanik)		Demak (aluvial pantai)	
Analisis Kimia		epj	%	epj	%	epj	%
Kation	Na + K	0,15	2,3	0,75	36,4	21,85	76,6
	Mg	2,06	31,1	0,58	28,2	2,82	9,9
	Ca	4,41	66,6	0,73	35,4	3,87	13,5
	Σ	6,62	100	2,06	100	28,54	100
Anion	Cl	0,35	5,4	0,17	6,3	19,04	72,4
	NO <sub>3</sub>	0,05	0,8	-	-	0,01	-
	HCO <sub>3</sub>	5,97	91,5	1,89	91,7	5,16	19,6
	SO <sub>4</sub>	0,15	2,3	-	-	2,08	8,0
	Σ	6,52	100	2,06	100	26,29	100
SiO <sub>2</sub> (bpj)		29,50		55		20,5	
pH		7,43		7,3		7,4	
Kelas Air		Kalsium-magnesium bikarbonat		Alkali-kalsium-magnesium-bikarbonat		Alkali klor	

Diatas kedua segitiga itu dibuat jajaran genjang dan pada jajaran genjang tersebut titik-titik kation dan anion dari kedua segi tiga ditarik keatas kedalam jajaran genjang. Dari kedudukan titik-titik tersebut pada jajaran maka dapat di interpretasi tipe kualitas airtanahnya.

Tipe kualitas airtanah dapat diketahui dengan cepat dengan memperhatikan kelompok dominan hasil pengeplotan data pada jajaran genjang tersebut, apabila titik-titik yang diplotkan jatuh di daerah :

1. berarti kandungan alkali tanah melebihi kandungan alkalinya.
2. berarti kandungan alkali melebihi kandungan alkali tanahnya.
3. berarti kandungan asam lemah melebihi asam kuatnya.
4. berarti kandungan asam kuat melebihi asam lemahnya.
5. berarti kekerasan karbonat (alkalinitas sekunder) lebih dari 50%, sifat kimia airtanah di dominir oleh alkali tanah dan asam lemah.
6. berarti kekerasan non karbonat (kegaraman sekunder) lebih dari 50%.
7. berarti non karbonat alkali (kegaraman primer) lebih dari 50%, sifat kimia airtanah didominir oleh alkali dan asam kuat. Air alut dan air "brine" diplot pada daerah ini.
8. berarti karbonat alkali (alkalinitas primer) lebih dari 50%.
9. berarti pasangan kation dan anion seimbang tidak ada yang melebihi 50%.

Selain dari metoda-metoda diatas masih terdapat metoda ilustrasi. Metoda ini digunakan untuk penggambaran penyebaran kualitas airtanah. Baik digambarkan dengan peta maupun dengan diagram balok. Kualitas airtanah dapat erupa kelas air ataupun yang lainnya dan setiap kelas air diberi simbol tersendiri atau diberi warna sehingga akan lebih mudah tampak didalam penyebaran kualitas airtanah maupun pada diagram balok.



### E. Standar Kualitas Airtanah Berdasarkan Atas Kegunaannya..

Penggunaan airtanah terutama untuk keperluan air minum, irigasi dan industri. Untuk masing-masing keperluan tersebut telah dikeluarkan standart kualitas air. standart kualitas air untuk air minum yang digunakan di Indonesia adalah standart yang dikeluarkan oleh Departemen Kesehatan Republik Indonesia. Disamping standart tersebut sering pula digunakan terutama oleh WHO atau standart yang lainnya. Standar kualitas air dari Departemen Kesehatan RI adalah seperti pada tabel 5.6 dibawah ini.

Untuk kepentingan irigasi masih diperlukan beberapa parameter lagi antara lain imbuhan jerapan natrium ("Sodium Adsorption Ratio" = SAR), % Na, Na Karbonat tersisa ("Residual Sodium Carbonat" = RSC), kadar Boron dan sebagainya. Imbuhan jerapan natrium (SAR) didapatkan dengan rumus berikut ini :

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{(Ca + Mg)}{2}}}$$

Na , Ca, dan Mg dalam satuan epj

Sedangkan % Na didapatkan dengan rumus :

$$\% Na = \frac{(Na + K) 100}{Ca + Mg + Na + K}$$

Satuan ion-ionnya dalam epj

Na karbonat tersisa (RSC) didapatkan dengan rumus :

$$RSC = (CO_3 + HCO_3) - (Ca + Mg)$$

dengan satuan ion-ionnya dalam epj.

Tabel 5.6 Standart Kualitas Airminum Dari Departemen Kesehatan Republik Indonesia 1975.

No.	Unsur	Satuan	Minimum Yang diperbolehkan	Maksimum yang dianjurkan	Maksimum yang diper- bolehkan.
1.	Suhu	°C	-	-	suhu udara
2.	Warna	pt-Co	-	5	50
3.	Bau & rasa	-	tidak berbau dan tidak berasa	tidak berbau dan tidak berasa	tidak berbau dan tidak berasa
4.	Kekeruhan	Unit	-	5	25
5.	pH		6,5	-	9,2
6.	Jumlah garam terlarut	mg/l	-	500	1.500
7.	KMnO <sub>4</sub> (zat organik)	mg/l	-	-	10
8.	CO <sub>2</sub> agresif	mg/l	-	-	0
9.	Kesadahan	°D	5	-	10
10.	Ca	mg/l	-	75	200
11.	Mg	"	-	30	150
12.	Fe	"	-	0,1	1,0
13.	Mn	"	-	0,05	0,5
14.	Cu	"	-	0,05	1,5
15.	Zn	"	-	1,0	15
16.	Cl	"	-	200	600
17.	SO <sub>4</sub>	"	-	200	400
18.	H <sub>2</sub> S	"	-	-	0
19.	F	"	1,0	-	2,0
20.	NH <sub>4</sub>	"	-	-	0
21.	NO <sub>3</sub>	"	-	-	20
22.	NO <sub>2</sub>	"	-	-	0
23.	Phenol	"	-	0,001	0,002
24.	AS	"	-	-	0,05
25.	Pb	"	-	-	-
26.	Se	"	-	-	0.01
27.	Cr	"	-	-	0.05
28.	CN	"	-	-	0.05
29.	Cd	"	-	-	0.01
30.	Hg	"	-	-	0.001
31.	Sinar alfa	C/ml	-	-	10 <sup>-9</sup>
32.	Sinar beta	"	-	-	10 <sup>-8</sup>
33.	Angka kuman	1 ml	-	-	100
34.	Bakteri Coli	100 ml	-	-	0

Parameter yang lain yang penting yaitu "biochemical oxygen demand" (BOD).

BOD ini mengukur taraf pengotoran atau pencemaran oleh bahan organik. Makin

besar BOD nya berarti makin besar taraf pengotorannya sehingga makin rendah kadar oksigen yang tersedia dalam air.

Klasifikasi air untuk keperluan irigasi ada beberapa macam antara lain berdasarkan harga daya hantar listrik, SAR, RSC, gabungan SAR dengan DHL, % Na, DHL, boron dan sebagainya seperti pada tabel dibawah.

Tabel 5.7 Klasifikasi Air Untuk Irigasi Berdasarkan Harga Daya Hantar Listrik / DHL (Todd 1995)

Kelas Air	D H L	Keterangan
I	0 - 2 mmho	Aman dipakai, pengaruh salinitas kebanyakan dapat diabaikan
II	2 - 4 mmho	Daya hasil tanaman yang sangat peka dapat tertekan
III	4 - 8 mmho	Daya hasil tanaman banyak mengalami pembatasan
IV	8 - 16 mmho	Hanya tanaman yang tahan dapat memberi hasil memuaskan
V	> 16 mmho	Hanya tanaman yang sangat tahan dapat memberikan hasil memuaskan.

Tabel 5.8 Klasifikasi Air Untuk Irigasi Berdasarkan Harga "Sodium Adsorption Ratio" / SAR (Todd 1995)

Kelas Air	SAR	Keterangan
Rendah	0 - 10	Bahaya Na atau alkali tidak ada atau sedikit
Menengah	10 - 18	Bahaya Na (alkali) sedang
Tinggi	18 - 26	Bahaya Na (alkali) besar
Tinggi sekali	> 26	Bahaya Na (alkali) sangat besar

## DAFTAR BACAAN

- Bouwer, H. 1978, "*Groundwater Hydrology*", Mc Graw Hill Book Company, New York.
- Bowen, R. 1980, "*Groundwater*" Applied Science Publishers, London.
- Dominico, 1990, "*Physical And Chemical Hydrogeology*", John Wiley & Sons, New York.
- Engelen, GB. 1981 "*A Sistem Approach to Groundwater Quality*" Mc Graw Hill Book Company, New York.
- Kruseman, GP. 1970. "*Analysis and Evaluation of Pumping Test Data*" International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wagening Bull.
- Purbohadiwidjojo, MM. 1967. "*hydrogeology of Stratovol Canoes A Geomorphic Approach*". Intern Assoc of Hydrogeologist, Memoir Vol VII, Congress of Hannover.
- Purbohadiwidjojo, MM. 1970. "*Percobaan Pemetaan Hidrogeologi Tinjau di Daerah Garut Dengan Menggunakan Dasar Satuan Geomorfologi*". Publikasi Teknik Seri Hidrogeologi No.1 Direktorat Geologi, Bandung.
- Rismianto, Joko. 1995 "*Keadaan dan Permasalahan Penyediaan Air Baku di Beberapa Kota di Indonesia*" Simposium Nasional Pengelolaan Sumberdaya Air di Indonesia. I T B Bandung.
- Suharyadi. (1984) "*Geohidrologi (Ilmu Airtanah)*", Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada.
- Todd, DK. 1980, "*Groundwater Hydrology*", John Wiley & Sons, New York.
- Todd, DK. 1995, "*Groundwater Hydrology*", Second Edition, John Wiley & Sons, New York.
- Walton, WC. 1970 "*Groundwater Resource Evaluation*" Mc Graw Hill Book Company, New York.