

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Deskripsi Air Tanah

Air tanah adalah air yang bergerak dalam tanah yang terdapat di dalam ruang-ruang antara butir-butir tanah yang membentuk itu dan didalam retak-retak dari batuan. Yang terdahulu disebut air lapisan dan yang terakhir disebut air celah (*fissure water*) (Mori dkk., 1999). Keberadaan air tanah sangat tergantung besarnya curah hujan dan besarnya air yang dapat meresap kedalam tanah. Faktor lain yang mempengaruhi adalah kondisi litologi (batuan) dan geologi setempat. Kondisi tanah yang berpasir lepas atau batuan yang permeabilitasnya tinggi akan mempermudah infiltrasi air hujan kedalam formasi batuan. Dan sebaliknya, batuan dengan sementasi kuat dan kompak memiliki kemampuan untuk meresapkan air kecil. Dalam hal ini hampir semua curah hujan akan mengalir sebagai limpasan (*runoff*) dan terus ke laut. Faktor lainnya adalah perubahan lahan-lahan terbuka menjadi pemukiman dan industri, serta penebangan hutan tanpa kontrol. Hal tersebut akan sangat mempengaruhi infiltrasi terutama bila terjadi pada daerah resapan (*recharge area*) (Usmar dkk., 2006).

2.1.1. Siklus Hidrologi

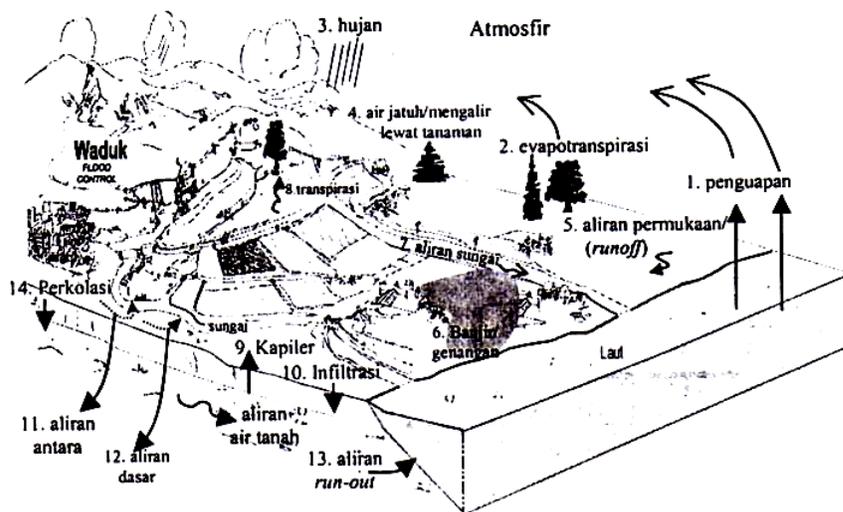
Di bumi terdapat kira-kira sejumlah 1,3-1,4 milyar km³ air yang terdiri dari 97,5 % air laut, 1,75% berbentuk es, dan 0,73% berada di daratan sebagai air sungai, air danau, air tanah dan sebagainya. Pemanfaatan air untuk berbagai macam keperluan tidak akan mengurangi kuantitas air yang ada di muka bumi ini, tetapi setelah dimanfaatkan maka kualitas air akan menurun. Air di bumi ini mengulangi suatu sirkulasi yang terus menerus yakni penguapan, persipitasi dan pengaliran keluar (*outflow*). Air yang ada di permukaan tanah, sungai, danau, dan laut selalu mengalir dan dapat berubah wujud menjadi uap air sebagai akibat pemanasan oleh sinar matahari dan tiupan angin yang kemudian menguap dan mengumpul membentuk awan. Pada tahap ini terjadi proses kondensasi yang kemudian turun sebagai titik-titik hujan atau salju ke permukaan laut atau daratan.

LAPORAN TUGAS AKHIR
PEMANFAATAN AIR TANAH UNTUK MEMENUHI AIR IRIGASI
DI KABUPATEN KUDUS JAWA TENGAH

Sebelum tiba ke permukaan bumi sebagian langsung menguap ke udara dan sebagian tiba ke permukaan bumi.

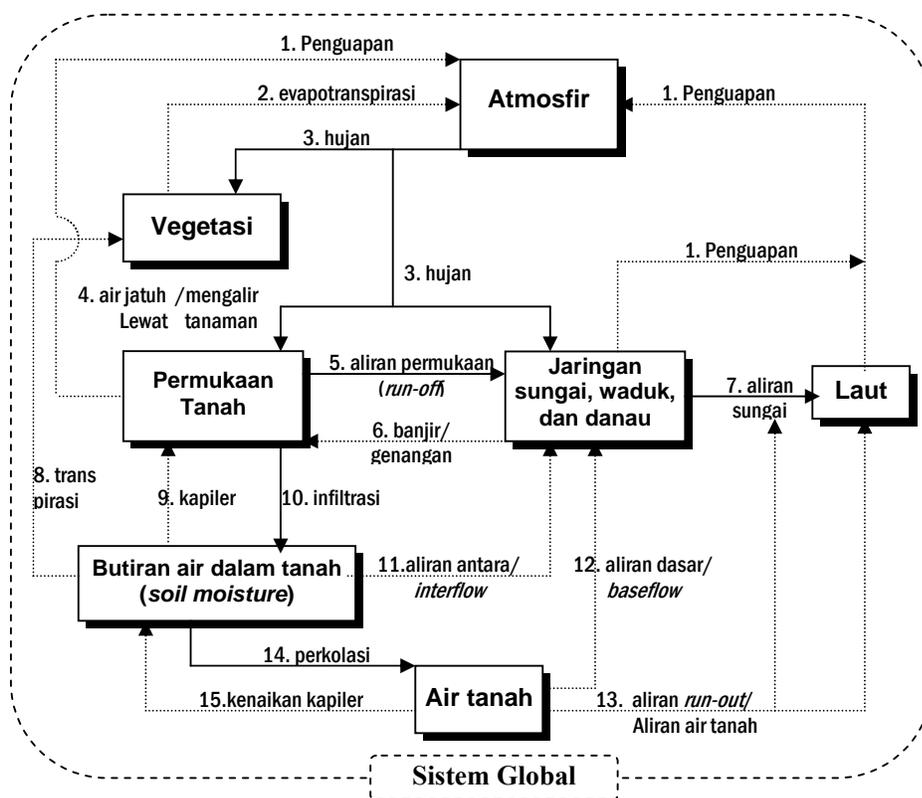
Sebagian dari air yang jatuh ke bumi akan tertahan oleh tumbuh-tumbuhan dimana sebagian akan menguap dan sebagian lagi akan jatuh atau melalui dahan-dahan mengalir sebagai air permukaan yang kemudian menguap kembali akibat sinar matahari. Sebagian lagi akan masuk ke dalam tanah (infiltrasi), dimana bagian lain yang merupakan kelebihan akan mengisi lekuk-lekuk permukaan tanah, kemudian mengalir ke daerah-daerah yang rendah, masuk ke sungai-sungai dan akhirnya ke laut. Dalam perjalanan ke laut sebagian akan menguap dan kembali ke udara. Sebagian air yang masuk ke dalam tanah keluar kembali segera ke sungai-sungai (*interflow*).

Sebagian besar akan tersimpan sebagai air tanah (*groundwater*) dengan mengisi tanah/bebatuan dekat permukaan bumi yang kemudian disebut akuifer dangkal, dan sebagian lagi terus masuk ke dalam tanah untuk mengisi lapisan akuifer yang lebih dalam. Proses ini berlangsung dalam waktu yang sangat lama. Lokasi pengisian (*recharge area*) dapat jauh sekali dari lokasi pengambilan airnya (*discharge area*), yang akan keluar sedikit demi sedikit dalam jangka waktu yang lama ke permukaan tanah di daerah-daerah yang rendah (*groundwater runoff*) limpasan air tanah. Sirkulasi antara air laut dan air darat yang berlangsung terus-menerus secara kontinu ini disebut siklus hidrologi (*hydrologic cycle*) (Mori dkk., 1999).



Gambar 2.1. Siklus Hidrologi
 (Grigg, 1996 dengan modifikasi dalam Kodoatie dan Sjarief, 2005)

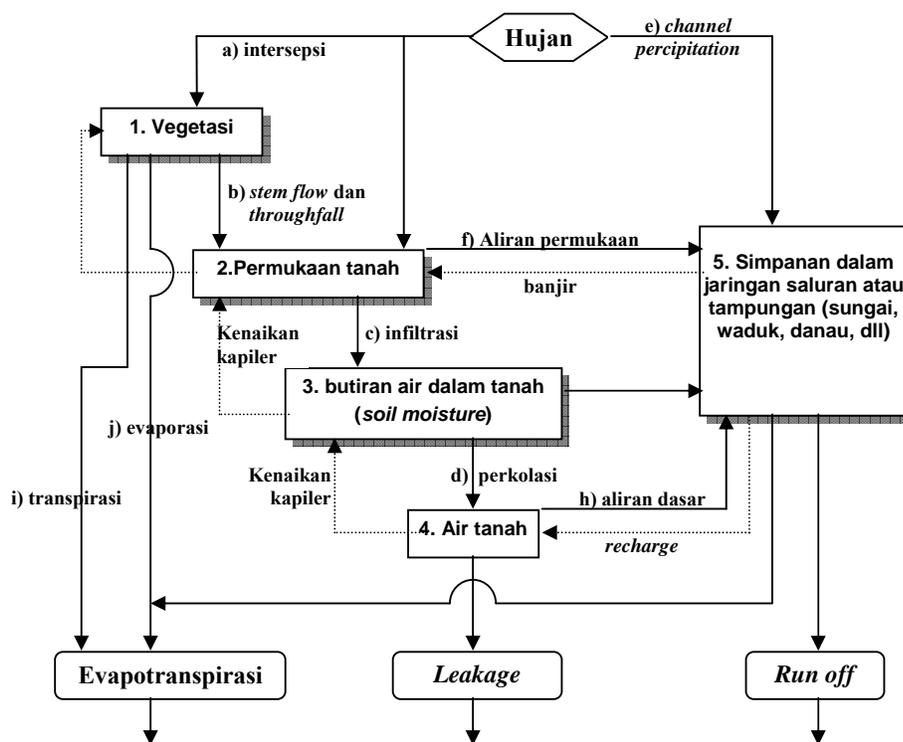
Siklus ini menunjukkan adanya keseimbangan air secara menyeluruh antara air permukaan (sungai, danau, penguapan, dll) dan air tanah dimana volume air yang ada didalamnya tetap kuantitasnya dan dikendalikan oleh radiasi matahari baik yang datang (*incoming radiation*) maupun yang pergi (*outgoing radiation*) sehingga disebut siklus hidrologi yang tertutup (*closed system diagram of the global hydrological cycle*).



Gambar 2.2 Siklus Hidrologi Tertutup
 (Toth, 1990; Chow dkk., 1988 dalam Kodoatie dkk., 2008)

Pada siklus tersebut baik aliran air tanah yang ada bisa saja merupakan satu atau lebih dari sub sistem dan tidak lagi tertutup karena adanya aliran air tanah yang merupakan masukan dan keluaran dari luar bagian aliran air tanah tersebut. Begitu juga dengan aliran air permukaan yang tidak lagi tertutup karena

adanya transportasi aliran di luar bagian aliran air permukaan tersebut yang merupakan masukan dan keluaran dari sub sistem aliran air tanah. Gabungan dari sub sistem aliran air tanah, air permukaan dan hidrologi ini disebut siklus hidrologi terbuka.



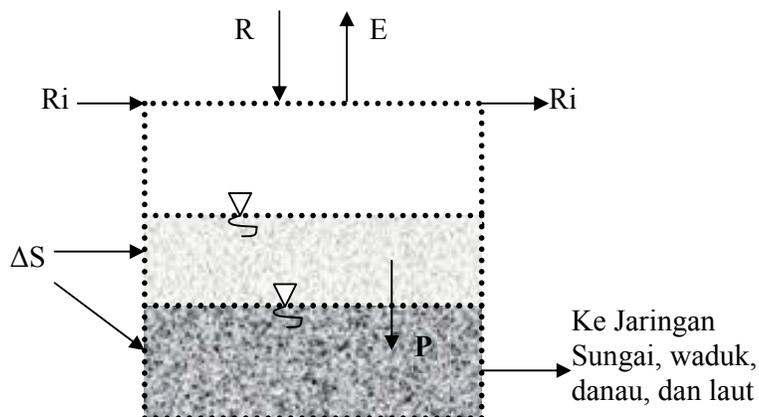
Menuju Sistem Hidrologi Global

Keterangan : masukan simpanan keluaran

Gambar 2.3 Aliran air permukaan dan aliran air tanah dalam siklus terbuka. (Lewin, 1985 dalam Kodoatie dan Sjarief, 2005)

2.1.2. Neraca Air (Water Balance)

Neraca air merupakan keseimbangan air yang terjadi dalam sistem hidrologi, yaitu antara jumlah masukan, keluaran dan perubahan kandungan air yang terdapat dalam sistem. (meteri mata kuliah PSDA) Parameter yang diperlukan dalam perhitungan neraca air meliputi jumlah curah hujan, evapotranspirasi nyata, limpasan air permukaan, dan jumlah air yang meresap ke dalam tanah. (Dinas Pertambangan dan Energi, 2003)



Gambar 2.4. Skema Neraca Air Sederhana dengan modifikasi
(Materi mata kuliah PSDA)

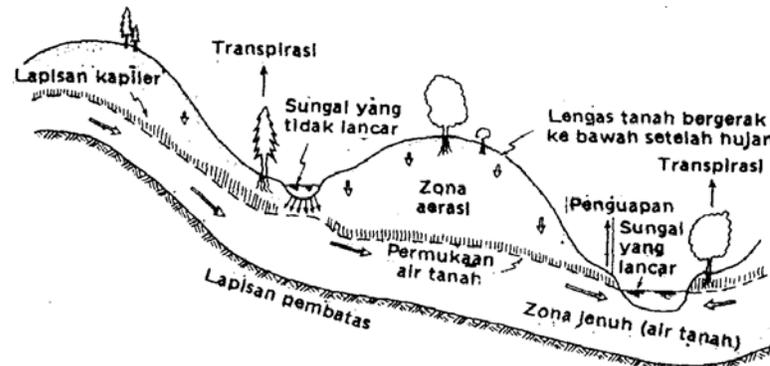
Rumus umum neraca air yang dikemukakan oleh Dunne dan Leopold (1978) dalam Dinas Pertambangan dan Energi (2003) sebagai berikut :

$$R = Ri + E + P \pm \Delta S_m \pm \Delta S_g$$

- dimana :
- R = Curah hujan rata-rata tahunan yang terjadi diatas basin (mm)
 - Ri = Air permukaan (*run off*) yang mengalir dibasin (mm)
 - E = Evapotranspirasi nyata (mm)
 - P = Perkolasi dalam (mm)
 - ΔS_m = Perubahan dalam cadangan kelengasan tanah (mm)
 - ΔS_g = Perubahan dalam cadangan air tanah / *groundwater* (mm)

2.1.3. Pergerakan Air Tanah

Air meresap ke dalam tanah dan mengalir mengikuti gaya gravitasi bumi. Akibat adanya gaya adhesi butiran tanah pada zona tidak jenuh air, menyebabkan pori-pori tanah terisi air dan udara dalam jumlah yang berbeda-beda. Setelah hujan, air bergerak kebawah melalui zona tidak jenuh air (*zona aerasi*). Sejumlah air beredar didalam tanah dan ditahan oleh gaya-gaya kapiler pada pori-pori yang kecil atau tarikan molekuler di sekeliling partikel-partikel tanah. Bila kapasitas retensi dari tanah pada zona aerasi telah habis, air akan bergerak kebawah kedalam daerah dimana pori-pori tanah atau batuan terisi air. Air di dalam zona jenuh air ini disebut air tanah (Linsley dkk., 1989).



Gambar 2.5. Pergerakan Air Tanah (Linsley dkk., 1989)

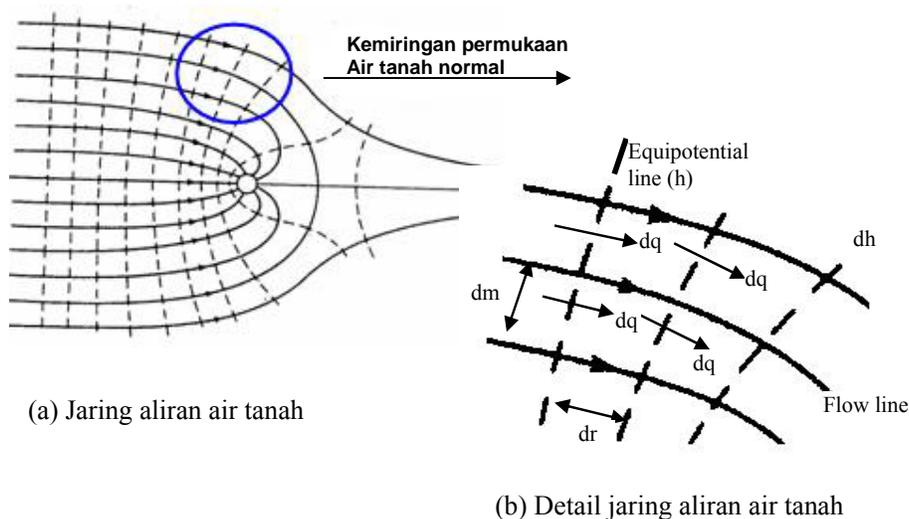
2.1.4. Aliran Air Tanah

Beberapa faktor yang berpengaruh terhadap gerakan air bawah permukaan tanah antara lain adalah (Usmar dkk, 2006) :

- Perbedaan kondisi energi di dalam air tanah itu sendiri
- Kelulusan lapisan pembawa air (*Permeability*)
- Keterusan (*Transmissibility*)
- Kekentalan (*viscosity*) air tanah

Air tanah memerlukan energi untuk dapat bergerak mengalir melalui ruang antar butir. Tenaga penggerak ini bersumber dari energi potensial. Energi potensial air tanah dicerminkan dari tinggi muka airnya (*pizometric*) pada tempat yang bersangkutan. Air tanah mengalir dari titik dengan energi potensial tinggi ke arah titik dengan energi potensial rendah. Antara titik-titik dengan energi potensial sama tidak terdapat pengaliran air tanah (Usmar dkk, 2006).

Garis khayal yang menghubungkan titik-titik yang sama energi potensialnya disebut garis kontur muka air tanah atau garis isohypse. Sepanjang garis kontur tersebut tidak terdapat aliran air tanah, karena arah aliran air tanah tegak lurus dengan garis kontur. Aliran air tanah tersebut secara umum bergerak dari daerah imbuh (*recharge area*) ke daerah luah (*discharge area*) dan dapat muncul ke permukaan secara alami maupun buatan (Usmar dkk, 2006).



Keterangan :

----- Equipotential line (garis-garis dengan ketinggian yang sama)

————— Flow line (garis aliran)

Gambar 2.6. Jaringan-jaring Aliran Air Tanah (Linsley dkk., 1989)

Kelulusan suatu material batuan sangat tergantung pada ukuran besar butiran serta sistem bukaan yang ada. Suatu lapisan batuan yang mempunyai angka kelulusan (K) dan tebal (kedalaman) dari zona jenuh air (b), maka dapat dikatakan lapisan batuan ini mempunyai angka keterusan/*Transmissibility* (T) yang dinyatakan dengan persamaan (Linsley dkk., 1986):

$$T = K \cdot b$$

dimana : T = Transmibisibilitas ($m^2/hari$)

K = Koefisien kelulusan ($m/hari$)

b = tebal / kedalaman akuifer (m)

2.1.5. Munculan Air Tanah

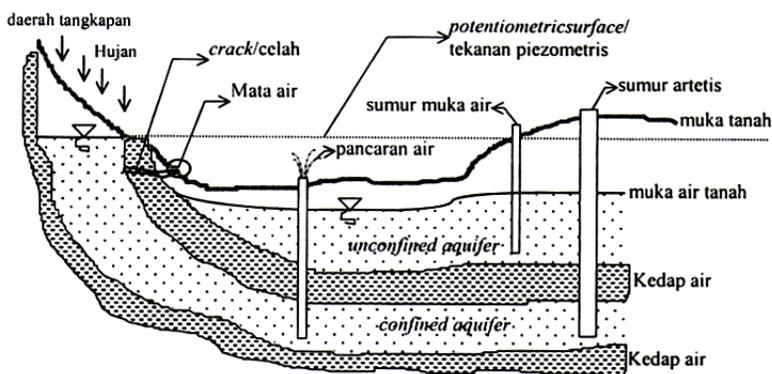
Air tanah dapat muncul ke permukaan secara alami, seperti mata air, maupun karena budidaya manusia, yaitu lewat sumur bor. Munculan air tanah ke permukaan karena budidaya manusia lewat sumur bor dapat dilakukan dengan menembus saluran tebal akuifer (*fully penetrated*) atau hanya menembus sebagian tebal akuifer (*partially penetrated*) (Usmar dkk, 2006).

2.1.6. Lapisan Akuifer

Sebagai lapisan kulit bumi, maka akuifer membentang sangat luas, menjadi semacam *reservoir* bawah tanah. Pengisian akuifer ini dilakukan oleh resapan air hujan kedalam tanah. Sesuai dengan sifat dan lokasinya dalam siklus hidrologi, maka lapisan akuifer mempunyai fungsi ganda sebagai media penampung (*storage function*) dan media aliran (*conduit function*). Aliran air tanah dapat dibedakan dalam aliran akuifer bebas (*unconfined aquifer*) atau akuifer terkekang (*confined aquifer*) (Kodoatie dan Sjarief, 2005).

- Akuifer tertekan (*confined aquifer*)

Merupakan lapisan rembesan air yang mengandung kandungan air tanah yang bertekanan lebih besar dari tekanan udara bebas/tekanan atmosfer, karena bagian bawah dan atas dari akuifer ini tersusun dari lapisan kedap air (biasanya tanah liat). Muka air tanah dalam kedudukan ini disebut pisometri, yang dapat berada diatas maupun dibawah muka tanah. Apabila tinggi pisometri ini berada diatas muka tanah, maka air sumur yang menyadap akuifer jenis ini akan mengalir secara bebas. Air tanah dalam kondisi demikian disebut artosis atay artesis. Dilihat dari kelulusan lapisan pengurungnya akuifer tertekan dapat dibedakan menjadi akuifer setengah tertekan (*semi-confined aquifer*) atau tertekan penuh (*confined aquifer*) dan dapat disebut pula dengan akuifer dalam (Kodoatie dan Sjarief, 2005).



Gambar 2.7. *Confined aquifer dan Unconfined aquifer*
(Todd, 1959 dalam Kodoatie dan Sjarief, 2005)

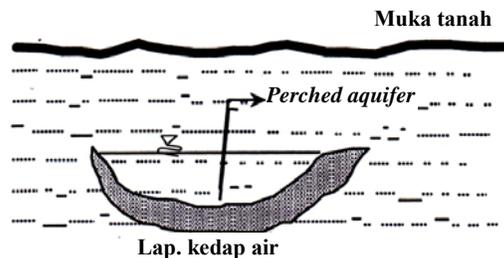
- Akuifer bebas/tak tertekan (*unconfined aquifer*)

Merupakan lapisan rembesan air yang mempunyai lapisan dasar kedap air, tetapi bagian atas muka air tanah lapisan ini tidak kedap air, sehingga kandungan air tanah yang bertekanan sama dengan tekanan udara bebas/tekanan atmosfer. Ciri khusus dari akuifer bebas ini adalah muka air tanah yang sekaligus juga merupakan batas atas dari zona jenuh akuifer tersebut, sering disebut pula dengan akuifer dangkal.

Beberapa macam *Unconfined Aquifer* (Kodoatie dan Sjarief, 2005) :

1. Akuifer Terangkat (*Perched Aquifer*)

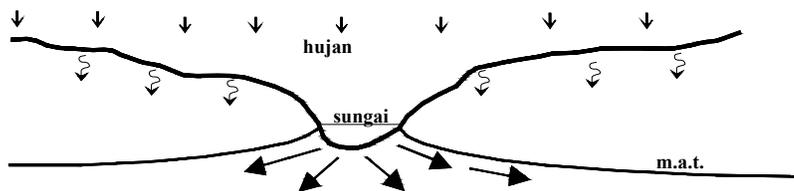
Merupakan kondisi khusus, dimana air tanah pada akuifer ini terpisah dari air tanah utama oleh lapisan yang relatif kedap air dengan penyebaran terbatas, dan terletak diatas muka air tanah utama



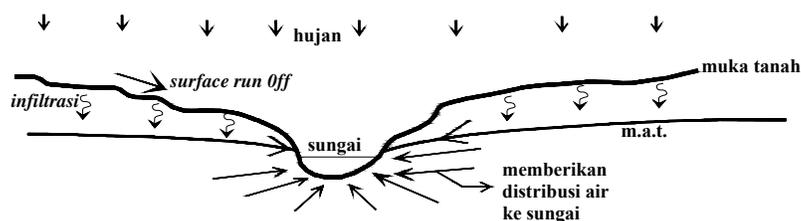
Gambar 2.8. Akuifer Terangkat (*perched aquifer*)

2. Akuifer Lembah (*Valley Aquifer*)

Merupakan akuifer yang berada pada suatu lembah dengan sungai sebagai batas (*inlet atau outlet*). Dapat dibedakan berdasarkan lokasinya yaitu di daerah yang banyak curah hujannya (*humid zone*), dimana pengisian air sungai yang ada di akuifer ini diisi melalui infiltrasi dari daerah-daerah yang sama tingginya dengan ketinggian sungai. Dan juga di daerah gersang (*arid zone*), dimana pengisian (infiltrasi) ke akuifer tidak ada akibat dari curah hujan. Pengisian air berasal dari sungai ke akuifer dengan aliran pada akuifer searah aliran sungai.



(a) Pada daerah yang banyak hujannya (*humid zone*)

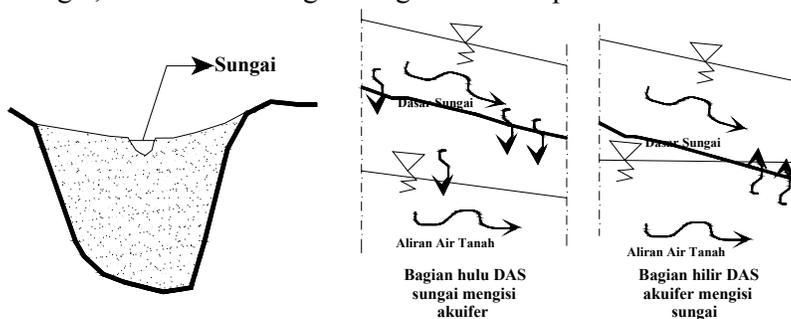


(b) Pada daerah yang gersang (*arid zone*)

Gambar 2.9. *Valley Aquifer* pada daerah *humid* dan *arid*

3. *Alluvial Aquifer*

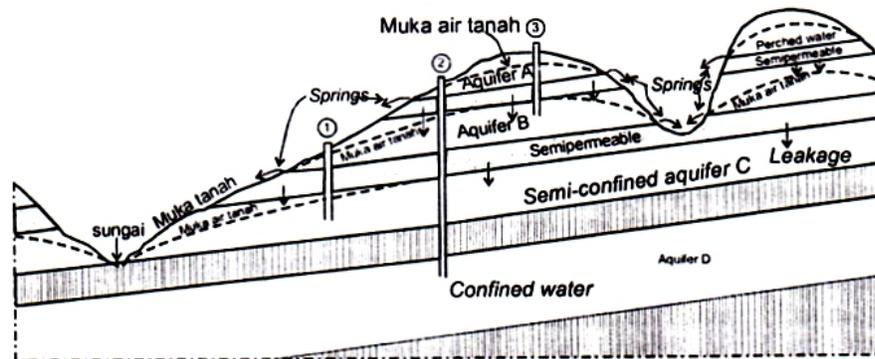
Merupakan akuifer yang terjadi akibat proses fisik baik pergeseran sungai maupun perubahan kecepatan penyimpanan yang beragam dan heterogen disepanjang daerah aliran sungai atau daerah genangan (*flood plains*). Akibatnya kapasitas air di akuifer ini menjadi besar dan umumnya air tanahnya seimbang (*equilibrium*) dengan air yang ada di sungai. Di daerah hulu DAS umumnya air sungai meresap ke tanah (infiltrasi) dan mengisi akuifer ini. Sedangkan di hilir muka air tanah di akuifer lebih tinggi dari dasar sungai, dan akuifer mengisi sungai terutama pada musim kemarau.



(a) *Alluvial Aquifer*

(b) Pengisian air oleh sungai dan akuifer

Gambar 2.10. *Alluvial aquifer* dengan sungai di atasnya



Gambar 2.11. Potongan Melintang Beberapa Akuifer
(Davis and DeWiest, 1966 dalam Kodoatie dan Sjarief, 2005)

2.1.7. Keterdapatan/Kuantitas Air Tanah

Kandungan air tanah yang ada berasal dari imbuhan, baik secara langsung dari curahan hujan maupun dari aliran tanah yang terkumpul menuju daerah lepasan (Dinas Pertambangan dan Energi, 2003). Kuantitas air tanah dapat diketahui dengan mengetahui seberapa besar jumlah air hujan yang menyerap kedalam tanah. Jumlah resapan air tanah dihitung berdasarkan besarnya curah hujan dan besarnya derajat infiltrasi yang terjadi pada suatu wilayah, yang kemudian meresap masuk ke dalam tanah sebagai imbuhan air tanah.

Penyebaran vertikal air bawah permukaan dapat dibagi menjadi zona tak jenuh (*zone of aeration*) dan zona jenuh (*zone of saturation*). Zona tak jenuh terdiri dari ruang antara sebagian terisi oleh air dan sebagian terisi oleh udara, sementara ruang antara zona jenuh seluruhnya terisi oleh air. Air yang berada pada zona tak jenuh disebut air gantung (*vadose water*), sedangkan yang tersimpan dalam ruang merambat (*capillary zone*) disebut air merambat (*capillary water*) (Linsley dkk., 1986).

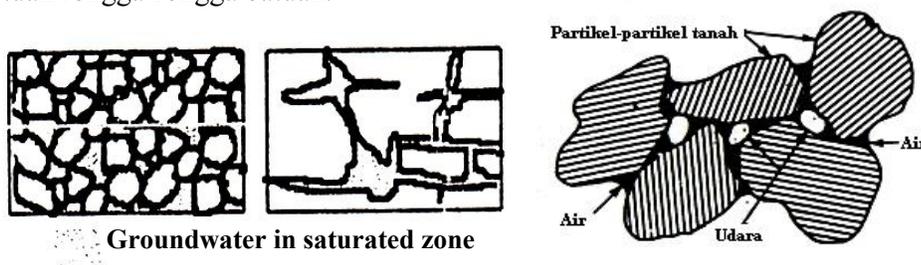
LAPORAN TUGAS AKHIR
PEMANFAATAN AIR TANAH UNTUK MEMENUHI AIR IRRIGASI
DI KABUPATEN KUDUS JAWA TENGAH

TERMINOLOGI					
Daerah			Jenis Air		
Daerah retakan batuan	Daerah tak jenuh air (<i>vadose zone</i>)	Daerah air tanah (<i>soil water</i>)	Air tanah (<i>moisture</i>)	Air melayang (<i>vadose water</i>)	Air celah/sela (<i>interstitial water</i>)
		Daerah antara	Bisa berisi air bisa berisi udara		
		Daerah kapiler (<i>capillary fringe</i>) Muka air	Air Kapiler $(p = p_{atm})$		
	Daerah jenuh air	Air tanah*			
Daerah aliran air pada batuan berdas arkan umur aliran pada batuan (<i>rock of flowage</i>)			Air dalam (hanya dalam kombinasi kimia dan batuan)		

*tergantung dari situasi akuifer (*confined aquifer*) atau atmosferik (*unconfined aquifer*)

Gambar 2.12. Lokasi dan jenis aliran air tanah
(Toth, 1990 dalam Kodoatie dan Sjarief, 2005)

Air tanah adalah bagian dari air yang ada dibawah permukaan tanah (*sub-surface water*), yakni yang berada di zona jenuh air (*zone of saturation*). Keterdapatn air tanah pada zona jenuh akan mengisi ruang-ruang antara butir batuan rongga-rongga batuan.



Gambar 2.13. Air Tanah Pada Zona Jenuh
(Linsley dkk., 1986 dan Seyhan, 1990)

Apabila ditinjau dari sifatnya terhadap air batuan tersebut dapat dibedakan atas (Kodoatie dan Sjarief, 2005):

- Akuifer (*aquifer*)

Suatu lapisan, formasi, atau kelompok formasi satuan geologi yang *permeable* baik yang terkonsolidasi (lempung) maupun yang tidak terkonsolidasi (pasir) dengan kondisi jenuh air dan mempunyai suatu besaran konduktivitas hidraulik (K) sehingga dapat membawa air (atau air

dapat diambil) dalam jumlah (kuantitas) yang ekonomis. Pasir dan kerikil merupakan contoh suatu jenis akuifer. Lapisan akifer ini sangat penting dalam usaha penyadapan air tanah.

- *Aquiclude* (lapisan kedap air)
Suatu lapisan, formasi, atau kelompok formasi satuan geologi yang kedap air (*impermeable*) dengan nilai konduktivitas hidraulik yang sangat kecil sehingga tidak memungkinkan air untuk melewatinya. Dapat dikatakan juga merupakan lapisan pembatas atas dan bawah suatu *confined aquifer*. Lempung adalah salah satu jenis dari *aquiclude*.
- *Aquitard* (*semi impervious layer*)
Suatu lapisan, formasi, atau kelompok formasi satuan geologi yang *permeable* dengan nilai konduktivitas hidraulik yang kecil namun masih memungkinkan air melewati lapisan ini walaupun dengan gerakan yang sangat lambat. Dapat dikatakan juga merupakan lapisan pembatas atas dan bawah suatu *semi confined aquifer*. Misalnya lempung pasir.
- *Akuifug*
Suatu lapisan, formasi, atau kelompok formasi satuan geologi yang relatif kedap air, yang tidak mengandung ataupun dapat mengalirkan air (air sama sekali tidak dapat melewatinya). Batu Granit termasuk jenis ini.

Litologi/penyusun batuan dari lapisan akuifer di Indonesia yang penting adalah (Usmar dkk., 2006):

- *Endapan alluvial*
Merupakan endapan hasil rombakan dari batuan yang telah ada. Endapan ini terdiri dari bahan-bahan lepas seperti pasir dan kerikil. Air tanah pada endapan ini mengisi ruang antar butir. Endapan ini tersebar di daerah dataran.
- *Endapan vulkanik muda*
Merupakan endapan hasil kegiatan gunung berapi, yang terdiri dari bahan-bahan lepas maupun padu. Air tanah pada endapan ini menempati baik ruang antar butir pada material lepas maupun mengisi rekahan/rongga batuan padu. Endapan ini tersebar disekitar wilayah gunung berapi.

- **Batu gamping**

Merupakan endapan laut yang mengandung karbonat, yang karena proses geologis diangkat ke permukaan. Air tanah disini terbatas pada rekahan, rongga, maupun saluran hasil pelarutan. Endapan ini tersebar di tempat-tempat yang dahulu berujud lautan. Karena proses geologis, fisik, dan kimia di beberapa daerah sebarana endapan batuan ini membentuk suatu morfologi khas, yang disebut karst.

2.1.8. Kualitas Air Tanah

Air hujan yang meresap ke bawah permukaan tanah dalam bentuk perkolasi maupun infiltrasi, dalam perjalanannya membawa unsur-unsur kimia. Komposisi kimia air tanah ini memberikan beberapa pengaruh terhadap berbagai kegiatan pemanfaatannya seperti pertanian, industri, maupun domestik. (Danaryanto dkk., 2008).

2.1.8.1. Klasifikasi Air Tanah

Kualitas air tanah ditentukan oleh tiga sifat utama, yaitu: sifat fisik, sifat kimia, dan sifat biologi/bakteriologi. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi sifat fisik dan sifat kimia air tanah yaitu (Dinas Pertambangan dan Energi, 2003):

- Jenis litologi akuifer, tempat terdapat/terakumulasinya air tanah
- Kondisi batuan dan lingkungan lainnya, dimana pergerakan air tanah berlangsung
- Jarak dari daerah resapan, dimana pembentukan air tanah mulai berlangsung

1. Sifat Fisik

Sifat fisik antara lain warna, bau, rasa, kekentalan, kekeruhan, suhu (Hadipurwo, 2006 dalam Danaryanto dkk., 2008).

- Warna air tanah disebabkan oleh zat yang terkandung di dalamnya, baik berupa suspensi maupun terlarut.
- Bau air tanah dapat disebabkan oleh zat atau gas yang mempunyai aroma yang terkandung dalam air.

LAPORAN TUGAS AKHIR
PEMANFAATAN AIR TANAH UNTUK MEMENUHI AIR IRIGASI
DI KABUPATEN KUDUS JAWA TENGAH

- Rasa air tanah ditentukan oleh adanya garam atau zat yang terkandung dalam air tersebut, baik yang tersuspensi maupun yang terlarut.
- Kekentalan air dipengaruhi oleh partikel yang terkandung di dalamnya. Semakin banyak yang terkandung akan semakin kental. Disamping itu apabila suhunya semakin tinggi, maka kekentalannya akan semakin kecil (encer).
- Kekeruhan air disebabkan oleh adanya tidak terlarutkan zat yang di kandung. Sebagai contoh adalah adanya partikel lempung, lanau, juga zat organik ataupun mikroorganisme.
- Suhu air juga merupakan sifat fisik dari air. Suhu ini dipengaruhi oleh keadaan sekeliling, seperti musim, cuaca, siang-malam, tempat ataupun lokasinya.

2. Sifat Kimia

Termasuk dalam sifat kimia adalah kesadahan, jumlah garam terlarut (*total dissolved solids* atau TDS), daya hantar listrik (*electric conductance*), keasaman, kandungan ion.

- Kesadahan atau Kekerasan

Kesadahan atau kekerasan (*total hardness*) dipengaruhi oleh adanya kandungan Ca dan Mg. Kesadahan ada dua macam, yaitu kesadahan karbonat dan kesadahan non karbonat (Danaryanto dkk., 2008). Air dengan kesadahan tinggi sukar melarutkan sabun, oleh karenanya air tersebut perlu dilunakkan terlebih dahulu. Klasifikasi air tanah berdasarkan kesadahan dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Klasifikasi air berdasarkan kesadahan (Hem, 1959; Sawyer dan Mc.Carty, 1994 dalam Danaryanto dkk., 2008)

Kesadahan (mg/l CaCO ₃)		Kelas Air
Hem (1959)	Sawyer dan Mc. Carty (1994)	
0 – 60	0 – 75	Lunak
61 – 120	75 – 150	Menengah
121 – 180	150 – 300	Keras
> 180	> 300	Sangat Keras

Jumlah garam terlarut (*total dissolved solids* atau TDS) adalah jumlah garam yang terkandung di dalam air. Klasifikasi air berdasarkan jumlah garam terlarut menurut Hem (1959) tertera seperti pada Tabel 2.2, sedangkan menurut David dan De Wiest (1996) tertera seperti pada Tabel 2.3.

Tabel 2.2. Klasifikasi air berdasarkan jumlah garam terlarut (Hem, 1959 dalam Danaryanto dkk., 2008)

Jumlah garam terlarut (mg/l)	Macam Air
< 3000	Tawar (<i>fresh</i>)
3000 – 10.000	Asin (<i>moderate saline</i>)
10.000 – 35.000	Sangat asin (<i>very saline</i>)
> 35.000	Asin sekali (<i>briny</i>)

Tabel 2.3. Klasifikasi air berdasarkan jumlah garam terlarut (Davis dan De Wiest, 1966 dalam Danaryanto dkk., 2008)

Jumlah garam terlarut (mg/l)	Macam Air
< 1000	Tawar (<i>fresh</i>)
1000 – 10.000	Payau (<i>brackish</i>)
10.000 – 100.000	Cukup asin (<i>moderate saline</i>)
> 100.000	Asin sekali (<i>briny</i>)

- Daya Hantar Listrik

Daya Hantar Listrik (DHL atau *electric conductance*) adalah sifat menghantarkan listrik air. Air yang banyak mengandung garam akan mempunyai DHL tinggi. Pengukurannya dengan alat *Electric Conductance Meter* (EC Meter), yang satuannya adalah mikro mhos/cm atau $\mu\text{mhos/cm}$ atau sering ditulis umhos.

Air tanah pada umumnya mempunyai harga 100 – 5000 μmhos . Besaran DHL dapat dikonversikan menjadi jumlah garam terlarut (mg/l), yaitu $10 \text{ m}^3 \mu\text{mhos/cm} = 640 \text{ mg/l}$ atau $1 \text{ mg/l} = 1,56 \mu\text{mhos/cm}$ (1,56 U S/cm) (Danaryanto dkk., 2008).

Hubungan antara DHL dengan jumlah garam terlarut secara tepat perlu banyak koreksi seperti temperatur pengukuran, maupun tergantung juga dengan jenis garam yang terlarut, tetapi secara umum angka tersebut diatas sedikit banyak

dapat mewakili. Hubungan antara harga DHL dan macam air seperti terlihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Klasifikasi air berdasarkan harga DHL (Hadipurwo, 2006 dalam Danaryanto dkk., 2008)

DHL ($\mu\text{mhos/cm}$ pada 25°C)	Macam Air
0,055	Air murni
0,5 – 5,0	Air suling
5 – 30	Air hujan
30 – 2000	Air tanah
35.000 – 45.000	Air laut

- **Keasaman Air**

Keasaman air dinyatakan dengan pH, mempunyai besaran mulai dari 1 – 14. Air yang mempunyai pH 7 adalah netral, sedangkan yang mempunyai pH lebih besar/kecil dari 7 disebut bersifat basa/asam. Jadi air yang mengandung garam Ca atau Mg karbonat, bersifat basa (pH 7,5-8), sedangkan yang mempunyai harga pH < 7 adalah bersifat asam, sangat mudah melarutkan Fe, sehingga air yang asam biasanya mempunyai kandungan besi (Fe) tinggi. Pengukuran pH air dilapangan dilakukan dengan pH meter, atau kertas lakmus (Hadipurwo, 2006 dalam Danaryanto dkk., 2008).

- **Kandungan Ion**

Kandungan ion baik kation maupun anion yang terkandung di dalam air diukur banyaknya, biasanya dalam satuan part per million (ppm) atau mg/l. Ion-ion yang diperiksa antara lain Na, K, Ca, Mg, Al, Fe, Mn, Cu, Zn, Cl, SO₄, CO₂, yang biasanya jarang akan tetapi ion ini bersifat sebagai racun antara lain As, Pb, Sn, Cr, Cd, Hg, Co (Hadipurwo, 2006 dalam Danaryanto dkk., 2008)

3 Sifat Biologi/Bakteri

Kandungan biologi di dalam air diukur terutama dengan banyaknya bakteri coli. Untuk standar air minum ada batas maksimum kandungan coli yang diperbolehkan (Danaryanto dkk., 2008).

2.1.8.2. Standar Kualitas Air Tanah

Cara penentuan kualitas/mutu air tanah untuk berbagai keperluan yaitu :

- Standar Kualitas Air Minum

Penilaian kualitas air tanah untuk keperluan air minum dilakukan dengan membandingkan hasil analisis kimia dari sampel air tanah dilaboratorium dengan baku mutu/kualitas air minum yang ditetapkan dalam Keputusan Menteri Kesehatan RI No.907/Menkes/SK/VII/2002. Kriteria kualitas air minum disajikan dalam Tabel 2.5 berikut:

Tabel 2.5. Kriteria Kualitas Air Minum (Keputusan Menteri Kesehatan RI No.907/Menkes/SK/VII/2002)

No.	Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang Diperbolehkan	Keterangan
A. FISIKA				
1.	Bau	-	-	Tidak berbau
2.	Jumlah Zat Padat Terlarut (TDS)	mg/ L	1000	-
3.	Kekeruhan	NTU	5	-
4.	Rasa	-	-	Tidak berasa
5.	Suhu	X°	Suhu Udara 3°C	-
6.	Warna	TCU	15	-
B. KIMIA				
a. Kimia Anorganik				
1	Air Raksa	mg/ L	0.001	
2	Alumunium	mg/ L	0.2	
3	Arsen	mg/ L	0.01	
4	Barium	mg/ L	0.7	
5	Besi	mg/ L	0.3	
6	Fluorida	mg/ L	1.5	
7	Kadmium	mg/ L	0.003	
8	Kesadahan (CaCO ₃)	mg/ L	500	
9	Khlorida	mg/ L	250	
10	Kromium, val 6	mg/ L	0.05	
11	Mangan	mg/ L	0.1	
12	Natrium	mg/ L	200	
13	Nitrat, sebagai N	mg/ L	50	
14	Nitrit, sebagai N	mg/ L	3	
15	Perak	mg/ L	0.05	Batas Min & Max

LAPORAN TUGAS AKHIR
PEMANFAATAN AIR TANAH UNTUK MEMENUHI AIR IRIGASI
DI KABUPATEN KUDUS JAWA TENGAH

16	pH	mg/ L	6.5 – 8.5	
17	Selenium	mg/ L	0.01	
18	Seng	mg/ L	3.0	
19	Sianida	mg/ L	0.07	
20	Sulfat	mg/ L	250	
21	Sulfida (H ₂ S)	mg/ L	0.05	
22	Tembaga	mg/ L	1.0	
23	Timbal	mg/ L	0.01	
b. Kimia Organik				
1	Aldrin dan dieldrin	µm/L	0.03	
2	Benzene	µm/L	10	
3	Benzo(a)pyrene	µm/L	0.7	
4	Chlordane (total isomer)	µm/L	0.2	
5	Chloroform	µm/L	200	
6	2,4 – D	µm/L	30	
7	DDT	µm/L	2	
8	Detergen	µm/L	50	
9	1,2 Dichloroethane	µm/L	30	
10	1,1 Dichloroethene	µm/L	30	
11	Heptachlor dan Heptachlor Epoxide	µm/L	0.03	
12	Hexachlorobenzene	µm/L	1	
13	Gamma – HCH (Lindane)	µm/L	2	
14	Methoxychlor	µm/L	20	
15	Pentachlorophenol	µm/L	9	
16	2,4,6 – Trichlorophenol	µm/L	2	
17	Zat organik (KMnO ₄)	µm/L	10	
C. MIKROBIOLOGI				
1	Koliform Tinja	jml/ 100 ml	0	
2	Total Coliform	jml/ 100 ml	0	95% dari sampel yang diperiksa selama 1 tahun Kadang boleh ada 3/100 ml sampel air, tetapi tidak berturut-turut
D. RADIOAKTIVITAS				
1	Aktivitas alpha			
2	(Gross Alpha Activity)	Bq/ L	0.1	
3	Aktivitas beta			
4	(Gross Beta Activity)	Bq/ L	1.0	

**LAPORAN TUGAS AKHIR
PEMANFAATAN AIR TANAH UNTUK MEMENUHI AIR IRIGASI
DI KABUPATEN KUDUS JAWA TENGAH**

Keterangan :

mg = miligram

mL = mililiter

L = liter

Bq = *Bequerel*

NTU = *Nephelometric Turbidity Units*

TCU = *True Color Units*

Logam berat merupakan logam terlarut

- Kriteria Air Irigasi

Penilaian kualitas air tanah untuk keperluan air irigasi dilakukan dengan membandingkan hasil analisis kimia dari sampel air tanah dilaboratorium dengan baku mutu/kualitas air irigasi yang ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah No 20 – 1990 yang dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6. Kriteria kualitas air untuk irigasi (Peraturan Pemerintah No 20 - 1990)

No	PARAMETER	SATUAN	KADAR MAKSIMUM	KETERANGAN
• FISIKA				
1.	Daya Hantar Listrik	umhos/em	2.250	Tergantung dengan jenis tanaman. Kadar maksimum tersebut untuk tanaman yang tidak peka
2.	Suhu	°C	Suhu air normal	Sesuai dengan kondisi setempat
3.	Zat padat terlarut	mg/L	2.000	Tergantung dengan jenis tanaman. Kadar maksimum tersebut untuk tanaman yang tidak peka
• KIMIA				
a. KIMIA ORGANIK				
1.	Air Raksa	mg/L	0,005	
2.	Arsen	mg/L	1,0	
3.	Boron	mg/L	1,0	
4.	Kadmium	mg/L	0,001	
5.	Kobalt	mg/L	0,2	
6.	Kromium, valensi 6	mg/L	1,0	
7.	Mangan	mg/L	2,0	

LAPORAN TUGAS AKHIR
PEMANFAATAN AIR TANAH UNTUK MEMENUHI AIR IRIGASI
DI KABUPATEN KUDUS JAWA TENGAH

8.	Na (garam alkali)	mg/L	60,0	Tergantung dengan jenis tanaman. Kadar maksimum tersebut untuk tanaman yang tidak peka	
9.	Nikel	mg/L	0,5		
10.	pH	-	5 – 9		
11.	Selenium	mg/L	0,05		
12.	Seng	mg/L	2		
13.	Sodium Absorption	mg/L	18		
14.	Tembaga	mg/L	0,2		
15.	Timbal	mg/L	1		
16.	Residual Sodium Carbonat (RSC)	mg/L	1,25 - 2,50		
•	RADIO AKTIVITAS				Maksimum 1,25 untuk tanaman peka; Maksimum 2,50 untuk tanaman kurang peka.
1.	Aktivitas Alpha (Gross Alpha Activity)	Bq/L	0,1		
2.	Aktivitas Beta (Gross Beta Activity)	Bq/L	1,0		

Keterangan :

- = tidak dipersyaratkan

Ug = mikrogram

mg = miligram

mL = mililiter

L = liter

Bq = *Bequerel*

Logam berat merupakan logam terlarut

2.2. Potensi Air Tanah

Dalam UU Sumber Daya Air, daerah aliran tanah disebut cekungan air tanah (CAT) yang didefinisikan sebagai suatu wilayah yang dibatasi oleh batas hidrogeologis (batas ketinggian, batas aliran, batas muka air dan batas kedap air, menurut Toth, 1990 dan Kupper, 1990 dalam Kodoatie, 2005), dimana dalam batas-batas tersebut semua kejadian hidrogeologis seperti proses pengimbuhan, pengaliran, dan pelepasan air tanah berlangsung.

2.2.1. Pendugaan Air Tanah

Keadaan sebuah akuifer ditentukan oleh struktur geologi dan bentuk topografi. Tahap dasar dalam penyelidikan air tanah yaitu penyelidikan permulaan topografi dan geologi, pengukuran air, pendugaan fisik, pemboran uji dan uji akuifer. Pendugaan fisik dan pemboran uji termasuk dalam pendugaan air tanah. Pendugaan fisik yang dilakukan dalam pendugaan air tanah antara lain (Mori dkk., 1999):

- Pendugaan Listrik

Ketahanan listrik dari lapisan yang berbeda-beda tergantung dari kualitas batuan, derajat kepadatan dan kondisi kelembaban tanah dan jika arus listrik dialirkan dalam tanah dan gradien tekanan listriknya diukur diatas permukaan tanah maka kondisi lapisan dapat diperkirakan.

Tabel 2.7. Harga tahanan spesifik listrik umum dari lapisan (Mori, dkk., 1999).

Lapisan		Harga tahanan spesifik (Ω -m)
Air permukaan		80 – 200
Air Tanah		30 – 100
Alluvium-Dilluvium	Lapisan silt-lempung	10 – 200
	Lapisan pasir	100 – 600
	Lapisan pasir & kerikil	100 – 1000
Neo-tersier	Batu lumpur	20 – 200
	Batu pasir	50 – 500
	Konglomerat	100 – 500
	Tufa	20 – 200
Kelompok andesit		100 – 2000
Kelompok granit		1000 – 10000
Kelompok-kelompok chert, slate		200 – 2000

- Pendugaan Seismik

Gelombang seismik yang diakibatkan oleh ledakan merambat didalam tanah, dipantulkan dan dibiaskan pada batas antara lapisan-lapisan yang berbeda elastisitasnya serta sebagian gelombang dikembalikan kepermukaan tanah.

2.2.2. *Pumping Test*

Pumping Test disebut juga dengan uji akuifer. Dimana maksud dari uji akuifer ini adalah untuk mengetahui ketetapan akuifer seperti koefisien permeabilitas dan koefisien penampungan (*storage coefficient*). Jadi, uji akuifer itu sangat penting untuk perencanaan sumur dan pengontrolannya. Jika koefisien permeabilitas itu digunakan sebagai koefisien transmisibilitas (Koefisien permeabilitas dikali dengan tebal akuifer), maka perhitungannya akan lebih mudah (Mori dkk., 1999).

Untuk mendapatkan hasil uji akuifer yang baik maka terutama diperlukan kondisi-kondisi sebagai berikut (Mori dkk., 1999) :

- Sumur pembuangan sedapat mungkin mempunyai konstruksi yang dapat mengeluarkan air tanah dari seluruh akuifer yang akan diuji.
- Permukaan air tanah sumur pembuangan harus terlihat dengan baik pada sumur-sumur pengamatan. Jadi saringan sumur pembuangan dan sumur-sumur pengamatan harus dipasang pada akuifer yang sama. Sumur-sumur pengamatan harus terletak pada bagian-bagian atas dan bawah dari gradien hidrolis dengan sumur pembuangan sebagai titik pusat. Rumus yang diterapkan untuk uji akuifer itu dibagi dalam 2 jenis, yakni rumus tidak keseimbangan dengan konsep waktu dan rumus keseimbangan tanpa konsep waktu.

Tahapan pengujian akuifer atau sering disebut dengan tahap *pumping* yaitu :

- Pemompaan Uji Pendahuluan (*Trial Pumping Test*)
Pertama-tama dilakukan uji pendahuluan yang dilakukan selama 3 jam berturut-turut dengan debit maksimum, dipasang pompa dengan debit pemompaan 3 liter/detik. Pada tahap ini dilakukan pengamatan terhadap penurunan muka asli air tanah pada sumur pengamatan (Dinas Pengelolaan dan Pedayagunaan Air Tanah, 2008).
- Pemompaan Uji Penurunan Bertingkat/ Uji Surut Muka Air Secara Bertahap (*Step draw-down test*).

Air dapat dipompa secara berturut-turut dari sumur artinya kondisi besarnya pemompaan yang tetap dapat diperoleh pada permukaan air yang

tetap. Jadi air yang keluar dari sumur diperkirakan pertama-tama terjadi pada penurunan permukaan air dan umumnya air yang keluar itu sama dengan besar pemompaan (Mori dkk., 1999).

Selama waktu pemompaan itu kecil, kapasitas spesifik air yang keluar yakni besar pemompaan per-satuan penurunan permukaan air relatif besar. Akan tetapi jika pemompaan menjadi besar, maka besarnya air yang keluar tahap demi tahap menjadi kecil dan akhirnya kadang-kadang banyaknya pasir dan lumpur dalam air yang dipompa meningkat yang disebabkan oleh pergerakan yang terdapat dalam akuifer (Mori dkk., 1999). Hal ini menunjukkan ketidakmampuan sumur dan untuk menghindarinya dilakukan uji surut muka air secara bertahap.

Sebelum dilakukan uji surut muka air secara bertahap, sumur harus didiamkan selama minimum 12 (dua belas) jam, tanpa pemompaan. Besar air pemompaan ditingkatkan tahap demi tahap dan pada setiap besarnya pemompaan akan ditemukan permukaan air yang seimbang. Kemudian besarnya pemompaan dikurangi tahap demi tahap sampai ditemukan permukaan air yang seimbang. Pemompaan dilakukan tiap tahapannya selama 3 jam dengan besarnya debit pemompaan bertahap. Kemudian dari hasil pengujian tersebut dapat dinyatakan dengan grafik hubungan antara besarnya pemompaan air (Q) dengan besarnya penurunan permukaan air (s) (Dinas Pengelolaan dan Pendayagunaan Air Tanah, 2008).

- Pemompaan Uji Menerus (*Constant rate pumping test*)

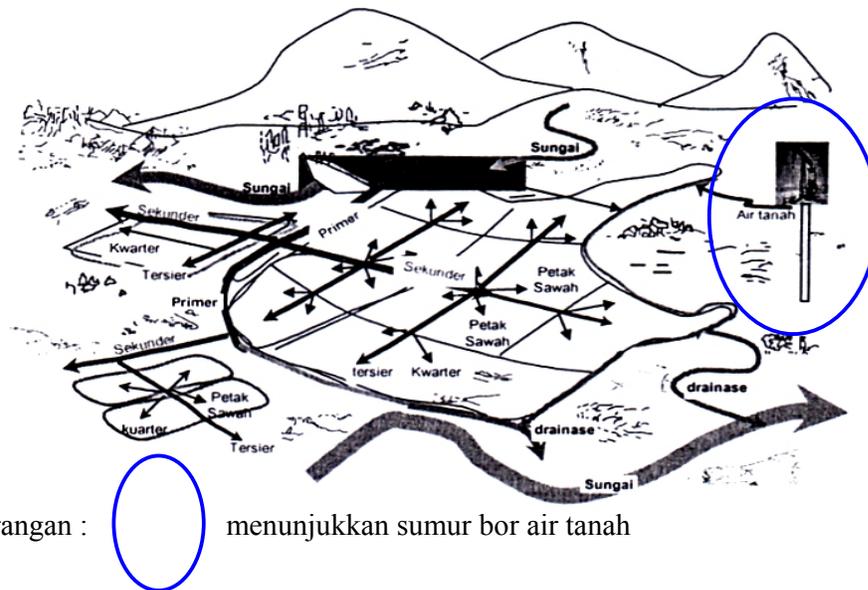
Setelah itu dilakukan pengujian debit secara terus menerus selama \pm 48 jam, pengujian ini dilakukan untuk pengamatan penurunan muka air tanah dan apabila didapatkan penurunan muka air yang drastis serta mempengaruhi sumur-sumur lain yang ada maka dilakukan uji pemompaan dengan penurunan debit (Dinas Pengelolaan dan Pendayagunaan Air Tanah, 2008).

- Uji Pemulihan (*Recovery Test*)

Kemudian yang terakhir dilakukan *recovery* atau tahap pemulihan. Pada tahapan ini dapat dilihat apakah terjadi pengisian air tanah kembali atau tidak (Dinas Pengelolaan dan Pendayagunaan Air Tanah, 2008).

2.2.3. Pemanfaatan Air Tanah Untuk Irigasi

Air tanah digunakan untuk berbagai macam tujuan dan kebutuhan, sehingga mempunyai peranan yang besar dalam pembangunan dan pemeliharaan daerah, salah satunya untuk memenuhi kebutuhan air irigasi.



Gambar 2.14. Sistem Jaringan Irigasi dengan memanfaatkan air tanah (Kodoatie dan Sjarief, 2005)

Faktor utama yang perlu diperhatikan dalam pemanfaatan air tanah untuk sistem irigasi yaitu sumber air tanah yang ada dalam hal ini mencakup besarnya debit aliran air tanah yang dapat dimanfaatkan dengan cara pemompaan melalui sumur-sumur bor. Sehingga dalam hal ini pemompaan air tanah yang dapat mengakibatkan sumber air tanah itu menjadi kering dengan tiba-tiba, penurunan tanah atau penerobosan air asin, tidak boleh dilaksanakan. Serta biasanya pemompaan air tanah yang lambat laun mengakibatkan pengurangan sumber air tanah juga tidak boleh dilaksanakan.

2.2.3.1. Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air irigasi untuk menentukan besarnya debit air yang dipakai mengairi lahan di daerah irigasi. Debit air ini yang digunakan sebagai dasar perencanaan jaringan irigasi. Kebutuhan air untuk irigasi tergantung pada macam tanaman dan masa pertumbuhannya sampai dipanen sehingga memberikan produksi yang optimum. Tanaman yang terpenting yang membutuhkan air irigasi di Indonesia adalah padi. Oleh karena itu pemberian air untuk keperluan tanaman padi menjadi suatu masalah yang sangat penting disamping pemberian air pada tanaman palawija.

Perhitungan kebutuhan air irigasi ini dimaksudkan untuk (Dwi, 2006)

- Menentukan besarnya debit air yang dibutuhkan dengan rencana pola tanam, tata tanam dan intensitas tanaman
- Menentukan dimensi saluran irigasi dan bangunan irigasi yang diperlukan
- Dapat dijadikan pedoman eksploitasi suatu jaringan irigasi

Perkiraan banyaknya air untuk irigasi didasarkan pada faktor-faktor (Irigasi dan Bangunan Air, Gunadharma):

- Jenis tanaman.
- Jenis tanah.
- Cara pemberian air.
- Cara pengolahan tanah
- Kuantitas curah hujan.
- Waktu tanam.
- Iklim.

Menurut jenisnya ada dua macam pengertian kebutuhan air (Dwi, 2006), yaitu:

1. Kebutuhan air bagi tanaman (penggunaan konsumtif), yaitu banyaknya air yang dibutuhkan tanaman untuk membuat jaringan tanaman (batang dan daun) dan untuk diuapkan (evapotranspirasi), perkolasi, curah hujan, pengolahan lahan dan pertumbuhan tanaman.

$$\text{Rumus : } I_r = E + T + (P + B) + W - R_e$$

$$\text{Dimana : } I_r = \text{Kebutuhan air} \quad B = \text{Infiltrasi}$$

$$E = \text{Evaporasi} \quad W = \text{Tinggi genangan}$$

$$T = \text{Transpirasi} \quad R_e = \text{Hujan efektif}$$

$$P = \text{Perkolasi}$$

2. Kebutuhan air untuk irigasi, yaitu kebutuhan air yang digunakan untuk pengairan pada saluran irigasi sehingga didapat kebutuhan air untuk masing-masing jaringan.

2.2.3.2. Penyiapan Lahan (W)

Kebutuhan air untuk penyiapan lahan sama dengan kebutuhan maksimum air irigasi. Penyiapan lahan ini dibedakan untuk tanaman padi dan palawija (Dwi, 2006).

1. Penyiapan lahan untuk padi

Waktu yang diperlukan untuk penyiapan lahan adalah selama 30 hari. Kebutuhan air untuk penjemuran dan pengolahan tanah diambil 200 mm. Setelah tanam selesai lapisan air di sawah ditambah 50 mm. Jadi kebutuhan air untuk penyiapan lahan awal dan lapisan air awal setelah tanam selesai seluruhnya 250 mm.

Untuk perhitungan kebutuhan air irigasi selama penyiapan lahan, digunakan metode *Van de Goor* dan *Zijlstra*. Metode tersebut didasarkan pada laju air konstan dalam l/dt_k selama periode penyiapan lahan, dengan rumus (Irigasi dan Bangunan Air, Gunadarma) :

$$IR = \frac{M \cdot e^k}{e^k - 1}$$

Dimana :

IR = Kebutuhan air disawah (mm/hari)

M = Kebutuhan air untuk mengganti kehilangan air akibat evaporasi dan perkolasi disawah yang sudah dijenuhkan

$$M = E_0 + P$$

Dimana :

E_0 = Evaporasi air terbuka = 1,1 ET_0

P = Perkolasi

e = Bilangan rasional (2,7182818)

$$k = \frac{M \cdot T}{S}$$

T = Jangka waktu penyiapan lahan (hari)

S = Kebutuhan air untuk penjemuran ditambah lapisan air 50 mm

Untuk memudahkan perhitungan angka pengolahan tanah digunakan tabel koefisien Van de goor dan Zijlstra pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8. Kebutuhan air selama penyiapan lahan

$E_0 + P$ mm/hari	T = 30 hari		T = 45 hari	
	S = 250 mm	S = 300 mm	S = 250 mm	S = 300 mm
5,0	11,1	12,7	8,4	9,5
5,5	11,4	13,0	8,8	9,8
6,0	11,7	13,3	9,1	10,1
6,5	12,0	13,6	9,4	10,4
7,0	12,3	13,9	9,8	10,8
7,5	12,6	14,2	10,1	11,1
8,0	13,0	14,5	10,5	11,4
8,5	13,3	14,8	10,8	11,8
9,0	13,6	15,2	11,2	12,1
9,5	14,0	14,5	11,6	12,5
10,0	14,3	15,8	12,0	12,9
10,5	14,7	16,2	12,4	13,2
11,0	15,0	16,5	12,8	13,6

2. Penyiapan lahan untuk palawija

Kebutuhan air untuk palawija diperlukan dalam proses penggarapan lahan untuk penanaman palawija dan untuk menciptakan kondisi lembab yang memadai untuk persemaian. Jumlah air yang diperlukan antara 50-100 mm. Untuk palawija diambil 50 mm selama 15 hari (3,33 mm/hari)

Kebutuhan air untuk penyiapan lahan atau penggenangan (standing water), pada saat pemupukan, ditetapkan $W = 3,33$ mm/hari.

2.2.3.3. Curah Hujan Efektif (R_e)

Curah hujan efektif adalah bagian dari keseluruhan curah hujan yang secara efektif tersedia untuk kebutuhan air tanaman selama masa pertumbuhannya. Curah hujan efektif dipengaruhi oleh cara pemberian air irigasi, sifat hujan, kedalaman lapisan air yang harus dipertahankan disawah, jenis tanaman dan tingkat ketahanan tanaman terhadap kekurangan air. Perkiraan curah hujan efektif dihitung berdasarkan R70, artinya curah hujan yang 70% disamai atau dilampaui dari 10 kali peristiwa, dengan kemungkinan tak terpenuhi 20% (Irigasi dan Bangunan Air, Gunadarma).

Metode yang dipakai :

1. Cara Empiris

$$R_e = R70 = n/5 + 1$$

LAPORAN TUGAS AKHIR
PEMANFAATAN AIR TANAH UNTUK MEMENUHI AIR IRIGASI
DI KABUPATEN KUDUS JAWA TENGAH

$R_e = R \cdot 70 =$ curah hujan efektif 70%

dimana :

$n/5 + 1 =$ ranking curah hujan efektif R_e dihitung dari ranking terkecil

$n =$ Jumlah pengamatan curah hujan.

2. Cara Statistik

a. Dengan analisa frekuensi curah hujan harian atau bulanan dapat diperkirakan curah hujan efektif yang 70% disamai atau dilewati dengan periode ulang 10 tahun dengan ascending order (Nm. *Excending*). Dengan memplot pada “*Extermal Porbality Paper*” dari Gumbel atau log-log paper dengan *ploting position* dari Hanzen $100(2m-1)/(n+1)$ besarnya curah hujan harian dapat dicari dengan mengambil $p(x) = 70\%$ atau periode ulang 10 tahun.

b. Besarnya curah hujan efektif dapat dihitung dengan rumus :

$$I_r = W + E_t + P - R_e \text{ atau}$$

$$R_e = W + E_t + P - I_r$$

Dimana : $I_r =$ Kebutuhan air irigasi.

$E_t =$ *Crop Consumtive use* = Evapotranspirasi.

$P =$ Perkolasi

$W =$ Kebutuhan air untuk pengolahan atau genangan.

Tabel 2.9. Koefisien curah hujan untuk padi (Irigasi dan Bangunan Air, Gunadarma)

Bulan	Golongan					
	1	2	3	4	5	6
0,5	0,36	0,18	0,12	0,09	0,07	0,06
1,0	0,70	0,53	0,35	0,26	0,21	0,18
1,5	0,40	0,55	0,46	0,36	0,29	0,24
2,0	0,40	0,40	0,50	0,46	0,37	0,31
2,5	0,40	0,40	0,40	0,48	0,45	0,37
3,0	0,40	0,40	0,40	0,40	0,46	0,44
3,5	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,45
4,0	0,00	0,20	0,27	0,30	0,32	0,33
4,5			0,13	0,20	0,24	0,27
5,0				0,10	0,16	0,20
5,5					0,08	0,13
6,0						0,07

2.2.3.4. Perkolasi dan Rembesan

Perkolasi adalah kehilangan air dari petak sawah baik yang meresap ke bawah maupun kesamping. Besarnya perkolasi dipengaruhi oleh sifat-sifat tanah, kedalaman air tanah dan system perakarannya. Apabila tidak tersedia hasil penelitian, dapat digunakan pedoman dibawah ini :

- Berdasarkan kemiringan lahan
 - Lahan datar = 1 mm/hari
 - Lahan miring > 5 % = 2-5 mm/hari
- Berdasarkan tekstur tanah
 - Berat (lempung) = 1-2 mm/hari
 - Sedang (lempung kepasiran) = 2-3 mm/hari
 - Ringan (pasir) = 3-6 mm/hari

Rembesan / Infiltrasi adalah peristiwa meresapnya air kedalam tanah melalui permukaan tanah. Kapasitas infiltrasi adalah kecepatan infiltrasi maksimum yang bias terjadi, tergantung dari kondisi permukaan tanah, dengan satuan mm/jam atau mm/hari. Kecepatan infiltrasi dipengaruhi oleh intensitas curah hujan, kapasitas infiltrasi dan jenis tanahnya (Irigasi dan Bangunan Air, Gunadarma).

2.2.3.5. Penggunaan Konsumtif

Penggunaan konsumtif dibedakan dalam dua hal pemanfaatan :

1. Kebutuhan air untuk pertumbuhan

Tergantung dari jenis tanaman, periode pertumbuhan, jenis tanah, iklim, luas area dan topografi.

a. Evapotranspirasi potensial (E_t)

Evapotranspirasi potensial atau evapotranspirasi tanaman acuan adalah evapotranspirasi tanaman yang dijukan acuan, yakni rerumputan pendek (*albedo* = 0,25). Evapotranspirasi dihitung dengan menggunakan metode *Penman* Modifikasi, dengan memperhatikan factor-faktor meteorology setempat.

Rumus evapotranspirasi *Penman* yang telah dimodifikasi adalah sebagai berikut (Irigasi dan Bangunan Air, Gunadarma):

LAPORAN TUGAS AKHIR
PEMANFAATAN AIR TANAH UNTUK MEMENUHI AIR IRIGASI
DI KABUPATEN KUDUS JAWA TENGAH

$$Et_0 = \frac{1}{L^{-1}\delta + \Delta(H_{sh}^{ne} - H_{lo}^{ne})} + \frac{\delta E_q}{\delta + \Delta}$$

Dimana :

- Et_0 = indeks evaporasi yang sama dengan evapotranspirasi dari rumput yang dipotong pendek (mm/hari)
- H_{sh}^{ne} = Jaringan radiasi gelombang pendek (*longleys/day*)
 $1 \text{ Longleys/day} = 1 \text{ kal/m}^2/\text{hari}$
 $= (1-\alpha)(0,29 \cos\Omega + 0,52r \times 10^{-2})Ra$
 $= (1-0,25)(0,29 \cos\Omega + 0,52r \times 10^{-2}) \times \alpha a^H sh.10^{-2}$
 $= \{ash \cdot f(r)\} \cdot \alpha a^H sh.10^{-2}$
- α = albedo, tergantung lapis permukaan yang ada untuk rumput $\alpha = 0,25$
- Ω = derajat lintang (utara dan selatan)
- Ra = Radiasi gelombang pendek maksimum secara teori
 $Longleys/day = \alpha a^H sh.10^{-2}$
- H_{lo}^{ne} = Jaringan radiasi gelombang panjang (*Longleys/day*)
 $= 0,97 \cdot \alpha \cdot Tai^4 \cdot (0,47 - 0,77\sqrt{e_d}) \cdot \{1-8/10(1-r)\}$
 $= f_{(Tai)} \times f_{(Tdp)} \times f_{(m)}$
- $f_{(Tai)}$ = αTai^4 (Tabel Penman 1)
- $f_{(Tdp)}$ = efek dari tekanan uap radiasi gelombang panjang
 $= (0,47 - 0,77\sqrt{e_d})$
- $f_{(m)}$ = efek dari angka nyata dan jam penyinaran matahari terang maksimum pada radiasi gelombang panjang
 $= 1 - m/10$
 $= \text{lama penyinaran matahari relative}$
- (m) = $8(1-r)$
- E_q = Evaporasi yang dihitung saat temperature permukaan sama dengan temperature udara (mm/hari)
 $= 0,35 (0,50 + 0,54 \mu_2) (e_a - e_d)$
 $= f(\mu_2) (Pz^{wa})_{sa} - Pz^{wa}$

**LAPORAN TUGAS AKHIR
PEMANFAATAN AIR TANAH UNTUK MEMENUHI AIR IRIGASI
DI KABUPATEN KUDUS JAWA TENGAH**

- μ_2 = Kecepatan angin diketinggian 2m diatas tanah (m/dtk)
- $(P_z^{wa})_{sa} = e_a$ = tekanan uap jenuh (mmHg)
- $P_z^{wa} = e_d$ = tekanan uap yang terhadi (mmHg)
- L = Panas laten dari penguapan (*longleys/minute*)
- δ = Konstanta Bowen (0,49 mmHg/°C)
- Δ = Kemiringan tekanan uap air jenuh yang berlawanan dengan kurva temperatur pada temperatur udara (mmHg/°C)

b. Koefisien Tanaman (K_c)

Besarnya koefisien tanaman (K_c) tergantung dari jenis tanaman dan fase pertumbuhannya. Pada perhitungan ini digunakan koefisien tanaman untuk padi dengan varietas unggul sesuai dengan ketentuan *Nedeco/Prosida*. Harga koefisien tanaman padi dan palawija disajikan pada tabel berikut :

Tabel 2.10. Koefisien Tanaman Untuk Padi dan Palawija Menurut Nedeco/Prosida (Irigasi dan Bangunan Air, Gunadarma)

Bulan	Padi		Palawija	
	Varietas Biasa	Varietas Unggul	Jagung	Kacang Tanah
0.50	1.20	1.20	0.50	0.50
1.00	1.20	1.27	0.59	0.51
1.50	1.32	1.33	0.96	0.66
2.00	1.40	1.30	1.05	0.85
2.50	1.35	1.15	1.02	0.95
3.00	1.24	0.00	0.95	0.95
3.50	1.12			0.95
4.00	0.00			0.55
4.50				0.55

2. Kebutuhan air untuk tanaman

Kebutuhan air tanaman adalah banyaknya air yang dibutuhkan oleh tanaman untuk pertumbuhan dan penguapan, yang lebih dikenal sebagai evapotranspirasi atau *consumptive use value*. Penggunaan konsumtif air oleh tanaman dihitung berdasarkan metode perkiraan empiris dengan menggunakan data iklim dan koefisien tanaman pada tahap pertumbuhan. Penggunaan konsumtif diperoleh dengan mengalikan hasil perhitungan evapotranspirasi (E_{t_0}) dari *Penman* dengan koefisien tanaman .

LAPORAN TUGAS AKHIR
PEMANFAATAN AIR TANAH UNTUK MEMENUHI AIR IRIGASI
DI KABUPATEN KUDUS JAWA TENGAH

Rumus :

$$Etc = Kc \times Et_0$$

Dimana :

Etc = Evapotranspirasi tanaman (mm/hari)

Et₀ = Evapotranspirasi tanaman acuan (mm/hari)

Kc = Koefisien tanaman

Untuk perhitungan kebutuhan air dengan data klimatologi diperlukan tabel-tabel koefisien sebagai berikut :

Tabel 2.11. Koefisien Suhu (Tabel Penman 2b : T_{ai})

$$f(T_{ai}) \times 10^{-2}$$

$$\Delta L^{-1} \times 10^2$$

$$P_z^w \int Sa$$

$$\gamma + \Delta$$

Tai	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
25	8,96	9,97	8,98	9,00	9,01	9,02	9,03	9,06	9,06	9,07
	2,43	2,45	2,46	2,47	2,49	2,50	2,51	2,52	2,54	2,55
	23,75	23,90	24,03	24,20	24,35	24,49	24,64	24,79	24,94	25,08
	1,91	1,92	1,92	1,93	1,94	1,95	1,95	1,96	1,97	1,98
26	9,08	9,09	9,10	9,12	9,13	9,14	9,15	9,17	9,18	9,19
	2,56	2,57	2,59	2,60	2,62	2,63	2,64	2,66	2,67	2,69
	25,31	25,45	25,60	25,74	25,89	26,03	26,10	26,32	26,46	26,60
	1,98	1,99	2,00	2,01	2,01	2,02	2,03	2,04	2,04	2,05
27	9,20	9,21	9,22	9,24	9,25	9,26	9,27	9,29	9,30	9,31
	2,70	2,71	2,73	2,74	2,76	2,78	2,79	2,81	2,82	2,84
	26,74	26,90	27,06	27,21	27,37	27,53	27,69	27,85	28,10	28,16
	2,06	2,07	2,08	2,08	2,09	2,09	2,10	2,11	2,12	2,13
28	9,32	9,33	9,35	9,36	9,37	9,39	9,40	9,41	9,43	9,44
	2,86	2,87	2,88	2,90	2,91	2,92	2,94	2,95	2,96	2,98
	28,32	28,49	28,66	28,83	28,00	29,17	29,34	29,51	29,68	29,85
	2,14	2,15	2,16	2,17	2,18	2,18	2,19	2,20	2,21	2,22
29	9,45	9,46	9,47	9,49	9,50	9,51	9,52	9,54	9,55	9,56
	2,99	3,01	3,02	3,04	3,05	3,07	3,08	3,10	3,11	3,13
	30,03	30,20	30,38	30,56	30,74	30,92	31,10	31,28	31,46	31,64
	2,23	2,24	2,25	2,25	2,26	2,27	2,28	2,29	2,30	2,31
30	9,57	9,58	9,60	9,61	9,62	9,64	9,65	9,66	9,68	9,69
	3,14	3,16	3,18	3,19	3,21	3,23	3,24	3,26	3,28	3,29
	31,82	32,00	32,19	32,38	32,57	32,76	32,95	33,14	33,33	33,52
	2,32	2,33	2,34	2,35	2,36	2,37	2,38	2,38	2,39	2,40

Sumber : PSA-010, Dirjen Pengairan, Bina Program (1985) dalam Dwi (2006)

LAPORAN TUGAS AKHIR
PEMANFAATAN AIR TANAH UNTUK MEMENUHI AIR IRRIGASI
DI KABUPATEN KUDUS JAWA TENGAH

Tabel 2.12. Koefisien Tekanan Udara dan Angin (Tabel Penman 3 : T_{dp})

$F (T_{dp})$

$P_z^{w a}$ (N . B . : in mmHg)

$P_z^{w a}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
15	0,195 12,78	0,194 12,86	0,194 12,95	0,193 13,03	0,192 13,11	0,191 13,20	0,190 13,28	0,189 13,37	0,188 13,45	0,187 13,54
16	0,186 13,63	0,185 13,71	0,184 13,80	0,183 13,90	0,182 13,99	0,181 14,08	0,180 14,17	0,179 14,26	0,178 14,35	0,177 14,44
17	0,176 14,53	0,175 14,62	0,175 14,71	0,174 14,80	0,173 14,90	0,172 14,99	0,171 15,09	0,170 15,17	0,169 15,27	0,168 15,38
18	0,167 15,46	0,166 15,56	0,165 15,66	0,164 15,76	0,163 15,86	0,162 15,96	0,161 16,06	0,160 16,16	0,159 16,26	0,158 16,36
19	0,157 16,46	0,156 16,57	0,156 16,68	0,155 16,79	0,154 16,90	0,153 17,00	0,152 17,10	0,151 17,21	0,150 17,32	0,149 17,43
20	0,148 17,53	0,147 17,64	0,146 17,75	0,145 17,86	0,144 17,97	0,143 18,08	0,142 18,20	0,141 18,31	0,140 18,43	0,139 18,54
21	0,137 18,65	0,136 18,77	0,135 18,88	0,134 19,00	0,133 19,11	0,132 19,23	0,131 19,35	0,130 19,46	0,129 19,58	0,128 19,70
22	0,127 19,82	0,126 19,94	0,125 20,06	0,124 20,19	0,123 20,31	0,122 20,43	0,121 20,58	0,120 20,69	0,119 20,80	0,117 20,93
23	0,116 21,05	0,115 21,19	0,114 21,32	0,113 21,45	0,112 21,58	0,111 21,71	0,110 21,84	0,109 21,97	0,108 22,10	0,107 22,23
24	0,106 22,37	0,105 22,50	0,104 22,63	0,103 22,76	0,102 22,91	0,101 23,03	0,100 23,19	0,099 23,31	0,097 23,45	0,096 23,60
25	0,095 23,75	0,094 23,90	0,093 24,03	0,092 24,20	0,091 24,35	0,090 24,49	0,088 24,79	0,088 24,79	0,087 24,94	0,086 25,08

Sumber : PSA-010, Dirjen Pengairan, Bina Program (1985) dalam Dwi (2006)

Tabel 2.13. Koefisien Angin (Tabel Penman 4)

U2	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	0,086	0,095	0,104	0,123	0,132	0,142	0,151	0,151	0,160	0,160
1	0,178	0,187	0,197	0,206	0,215	0,225	0,234	0,244	0,253	0,262
2	0,271	0,280	0,290	0,299	0,306	0,318	0,327	0,337	0,346	0,355
3	0,364	0,373	0,382	0,392	0,401	0,410	0,420	0,429	0,438	0,447
4	0,456	0,465	0,475	0,484	0,493	0,503	0,512	0,522	0,531	0,540
5	0,549	0,558	0,568	0,577	0,586	0,596	0,605	0,614	0,624	0,633
6	0,642	0,651	0,660	0,670	0,679	0,688	0,698	0,707	0,716	0,725
7	0,734	0,743	0,752	0,762	0,771	0,780	0,790	0,799	0,808	0,817
8	0,826	0,835	0,845	0,854	0,863	0,873	0,882	0,891	0,901	0,910
9	0,919	0,928	0,938	0,947	0,956	0,966	0,975	0,984	0,994	1,003
10	1,012	1,021	1,031	1,040	1,049	1,059	1,068	1,077	1,087	1,096

Sumber : PSA-010, Dirjen Pengairan, Bina Program (1985) dalam Dwi (2006)

LAPORAN TUGAS AKHIR
PEMANFAATAN AIR TANAH UNTUK MEMENUHI AIR IRRIGASI
DI KABUPATEN KUDUS JAWA TENGAH

Tabel 2.14. Koefisien Angin (Tabel Penman 5)

S Atitude	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt	Nov	Des
0	8,59	8,87	8,93	8,67	8,23	7,95	8,03	8,41	8,77	8,83	8,62	8,46
1	8,66	8,92	8,93	8,62	8,15	7,85	7,94	8,34	8,74	8,85	8,68	8,55
2	8,74	8,96	8,92	8,57	8,06	7,75	7,85	8,27	8,71	8,88	8,75	8,63
3	8,82	9,00	8,92	8,52	7,98	7,65	7,75	8,21	8,69	8,91	8,81	8,72
4	8,89	9,04	8,91	8,47	7,89	7,55	7,66	8,14	8,67	8,93	8,88	8,80
5	8,97	9,08	8,91	8,42	7,81	7,45	7,56	8,08	8,64	8,85	8,94	8,89
6	9,04	9,12	8,91	8,37	7,72	7,35	7,47	8,01	8,62	8,97	9,01	8,97
7	9,12	9,16	8,90	8,32	7,64	7,25	7,37	7,95	8,59	8,99	9,06	9,06
8	9,19	9,20	8,90	8,27	7,55	7,15	7,28	7,88	8,57	9,01	9,14	9,14
9	9,27	9,24	8,90	8,22	7,47	7,05	7,18	7,81	8,54	9,03	9,21	9,23
10	9,35	9,28	9,89	8,17	7,38	6,95	7,09	7,74	8,51	9,06	9,27	9,32

Sumber : PSA-010, Dirjen Pengairan, Bina Program (1985) dalam Dwi (2006)

Tabel 2.15 Koefisien Angin (Tabel Penman 6)

Degrees	r											
N or S	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
90	0,000	0,039	0,028	0,117	0,156	0,195	0,234	0,273	0,312	0,351	0,390	
80	0,019	0,058	0,097	0,136	0,175	0,214	0,253	0,292	0,331	0,370	0,409	
70	0,074	0,113	0,152	0,191	0,230	0,269	0,308	0,347	0,386	0,425	0,464	
60	0,120	0,159	0,198	0,237	0,276	0,315	0,354	0,393	0,432	0,471	0,510	
50	0,140	0,179	0,218	0,257	0,296	0,335	0,374	0,413	0,452	0,491	0,530	
40	0,167	0,206	0,245	0,284	0,323	0,362	0,401	0,440	0,479	0,518	0,557	
30	0,188	0,227	0,266	0,305	0,344	0,383	0,422	0,461	0,500	0,539	0,578	
20	0,204	0,243	0,282	0,321	0,360	0,399	0,438	0,477	0,516	0,555	0,594	
10	0,214	0,253	0,292	0,331	0,370	0,409	0,449	0,487	0,526	0,565	0,604	
6	0,216	0,255	0,294	0,333	0,372	0,411	0,450	0,489	0,528	0,567	0,606	
0	0,218	0,257	0,296	0,335	0,374	0,413	0,452	0,491	0,530	0,569	0,608	

Sumber : PSA-010, Dirjen Pengairan, Bina Program (1985) dalam Dwi (2006)

2.2.4. Komponen Irigasi Air Tanah

Untuk mendayagunakan air tanah dalam sebagai sumber air irigasi, maka diperlukan upaya pengambilan/pengangkatan air dari sumbernya ke permukaan tanah serta penyaluran ke lahan usaha tani (sawah). Dalam pedoman teknis pengembangan irigasi air tanah dalam (Direktorat Jenderal Pengelolaan Lahan dan Air, 2007) terdapat empat komponen penting yang perlu diperhatikan dalam pengembangan irigasi air tanah dalam: (a) sumur (b) pompa air dan perlengkapannya (c) rumah pompa dan (d) jaringan irigasi air tanah (JIAT). Gambaran rinci masing-masing komponen diuraikan pada bagian berikut ini:

2.2.4.1. Sumur

Untuk dapat memanfaatkan sumber air tanah dalam terlebih dahulu harus dibuat sumur sebagai tempat pengambilan. Sumur yang digunakan disini berupa sumur bor yang dibuat untuk mengambil air bawah tanah pada atau lebih lapisan ekuifer tertentu. Sumur tersebut dibuat dengan cara pengeboran dengan kedalaman air tanah dalam dari permukaan tanah > 60 m.

Konstruksi sumur itu sendiri merupakan instalasi sumur yang terpasang setelah proses pengeboran atau penggalian serta penyelesaian sumur selesai (Direktorat Jenderal Pengelolaan Lahan dan Air, 2007) , yang terdiri atas :

a. Pipa jambang

Merupakan susunan pipa dengan diameter tertentu pada bangunan konstruksi sumur mulai dari permukaan tanah sampai kedalaman tertentu yang berfungsi untuk menampung air bawah tanah dan penempatan pompa. Diameter dan panjang pipa jambang harus sesuai ketentuan yang tercantum dalam SIP serta mempertimbangkan kondisi air bawah tanah setempat.

b. Pipa naik

Merupakan susunan pipa dengan diameter tertentu pada bangunan konstruksi sumur yang terletak di bawah pipa jambang, berfungsi sebagai sarana air bawah tanah naik sampai ke pipa jambang. Diameter dan panjang pipa naik harus sesuai ketentuan yang tercantum dalam SIP serta mempertimbangkan kondisi air bawah tanah setempat.

c. Pipa saringan

Merupakan pipa yang berlubang-lubang atau bercelah-celah dengan ukuran tertentu di bagian dindingnya untuk memungkinkan masuknya air bawah tanah ke dalam sumur. Pipa saringan harus memenuhi syarat berikut :

- 1) Jenis pipa saringan sesuai SNI
- 2) Celahan (slot) pipa saringan menyesuaikan dengan akuifer yang akan disadap.

3) Diameter dan panjang pipa saringan harus sesuai ketentuan yang tercantum dalam SIP serta mempertimbangkan kondisi air bawah tanah setempat.

d. Pipa pisometer

Merupakan pipa dengan lubang-lubang pada dindingnya yang dipasang di luar pipa jambang dan pipa naik serta pipa saringan di dalam lubang bor untuk pemantauan muka air bawah tanah. Diameter dan panjang pipa pisometer harus sesuai ketentuan yang tercantum dalam SIP serta mempertimbangkan kondisi air bawah tanah setempat.

e. Kerikil pambalut

Merupakan pambalut yang terbentuk dari kerikil yang diisikan ke dalam ruang antara dinding lubang bor dan saringan, yang berfungsi untuk menjaga kemampuan saringan dalam meluluskan air dan menahan butir-butir batuan lepas yang akan masuk ke dalam sumur, serta memenuhi syarat berikut :

- 1) Kerikil pambalut harus dipilih yang tidak mudah berubah bentuk, tidak lapuk, berbutir berbulat, diutamakan yang mempunyai kandungan silika tinggi, dan tidak mengandung gamping, zat organik, lumpur dan kotoran lainnya, atau kerikil artifisial
- 2) Diameter kerikil pambalut menyesuaikan dengan celah pipa saringan yang akan dipasang.

f. Lempung penyekat

Merupakan penyekat yang terbentuk dari lempung yang dimasukan ke dalam ruang antara dinding lubang bor dan pipa naik. Lempung penyekat harus dipakai lempung yang memenuhi syarat atau yang diproduksi khusus untuk keperluan konstruksi sumur.

g. Semen penyekat

Merupakan penyekat yang terbentuk dari bubur semen yang diinjeksikan ke dalam ruang antara dinding lubang bor dan pipa jambang atau pipa naik. Penyekat semen berguna untuk mencegah tercemarnya air

bawah tanah, dan untuk menahan agar dinding lubang bor tidak runtuh. Serta harus memenuhi syarat berikut :

- 1) Komposisi bubuk semen yang dipakai 40 kilogram semen setiap 22 liter air.
- 2) Semen yang digunakan harus memenuhi SNI 15-2049-1994 (Mutu dan cara uji portland semen jenis I).

2.2.4.2. Pompa Air dan Pelengkapannya

Pompa air dipergunakan untuk mengangkat air dari dalam tanah ke permukaan tanah. Jenis pompa yang biasa digunakan umumnya pompa sentrifugal, pompa turbin, dan pompa submersible disesuaikan dengan kebutuhan. Pompa air digerakkan dengan motor penggerak motor diesel atau motor listrik. Perlengkapan yang diperlukan agar pompa air agar dapat berfungsi mengangkat atau mengambil air dari dalam tanah antara lain selang dan pipa hisap, selang pembuang, pipa jambang, pipa casing, dan lain-lain.



Gambar 2.15. 6", 8", 10", 12" *Submersible Pumps*
(Direktorat Jenderal Pengelolaan Lahan dan Air, 2007)

2.2.4.3. Rumah Pompa/Genset

Pompa untuk air tanah dalam atau genset pompa air tanah dalam biasanya berukuran besar sehingga pompa/genset diletakkan secara permanen dan tidak bersifat mobile. Untuk melindungi pompa air serta motor penggeraknya/genset dari gangguan pencurian dan pengaruh cuaca yang dapat menyebabkan kerusakan lebih dini perlu dibuatkan rumah pompa. Pembangunan rumah pompa secara permanen terutama ditujukan untuk pompa dan atau mesin penggerak/genset yang berukuran besar.



Gambar 2.16. Rumah Pompa/Genset
(Direktorat Jenderal Pengelolaan Lahan dan Air, 2007)

2.2.4.4. Jaringan Irigasi Air Tanah (JIAT)

Untuk mengalirkan air dari pompa ke lahan usaha tani, dibuat/dibangun jaringan irigasi air tanah (JIAT), yang terdiri dari saluran, bak penampung, bangunan pengatur berupa pintu dan boks bagi, bangunan pengukur debit dan katup penutup yang berfungsi untuk mengatur arah aliran dalam pipa/jaringan irigasi. Untuk mengurangi kehilangan air dalam penyaluran, JIAT perlu dibuat secara permanen dengan dilining ataupun menggunakan sistim perpipaan.

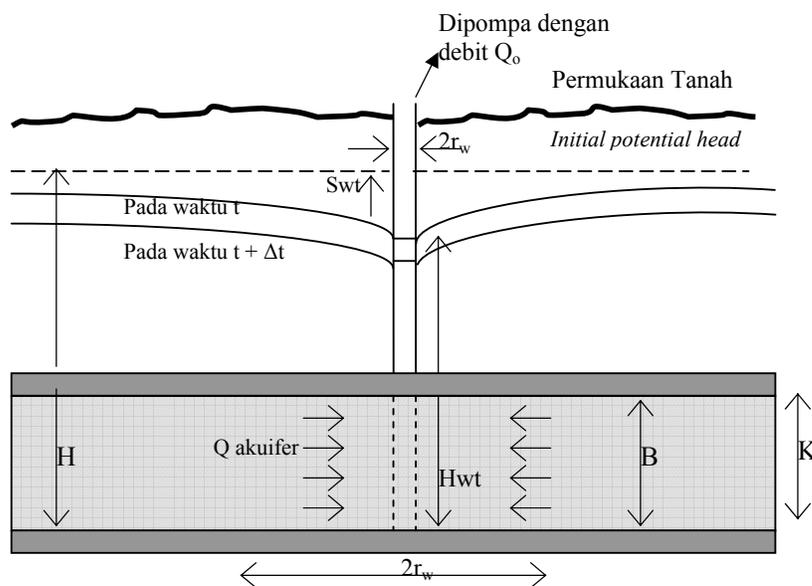
2.2.5. Karakteristik Sumur

Untuk mengetahui besarnya debit pompa yang dihasilkan oleh suatu dilakukan dengan cara uji pemompaan/uji akuifer. Pengujian tersebut sangat penting dalam perencanaan sumur dan pengontrolannya. Prinsipnya yaitu dengan memompa air tanah dari sumur uji dengan debit konstan tertentu. Dari pompa uji tersebut dapat dilihat berapa besar kapasitas jenis sumur, yakni jumlah air yang dapat dihasilkan dalam satuan volume tertentu (*specific capacity*) apabila muka air dalam sumur diturunkan dalam satuan panjang (misalnya liter/detik setiap satu meter satuan). Disamping itu, dari pengujian tersebut dapat diketahui juga parameter akuifer, seperti koefisien permeabilitas/kelulusan (K), koefisien transmisibilitas (T) dan koefisien penampungan/*storage coefficient* (S).

Suatu pemompaan pada suatu akuifer tertekan yang ditunjukkan pada Gambar 2.19, ketinggian hidraulik tergantung dari waktu. Dalam penyelesaian persoalan tersebut, disamping asumsi yang disebutkan diatas terdapat asumsi lainnya (Danaryanto, dkk., 2008) yaitu :

- a. Air secara mendadak dapat keluar dari akuifer

- b. Tidak ada imbunan
- c. Kesimpnaan yang dihasilkan dari sifat-sifat elastis baik dari air itu sendiri serta matriks akuifer dianggap konstan dalam tempat dan waktu, seperti $S_o = \rho g b(\alpha + n\beta)$



Gambar 2.17. Sumur yang memompa dari akuifer tertekan (Danaryanto, dkk., 2008)

Berdasarkan pada gambar diatas dapat diketahui besarnya debit pada akuifer dapat ditulis sebagai berikut :

$$Q = 2\pi K1B1 \frac{\partial h}{\partial r}$$

Karena aliran satu arah untuk akuifer tertekan tersebut, maka besarnya atau persamaan umum surutan s atau yang lebih dikenal dengan Persamaan Theis (1935) dalam Mori dkk (1999) adalah :

$$s = \frac{Q_o}{4\pi T} \int_0^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du$$

Besarnya u sebagai berikut :

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

dimana : r = jari-jari menurunnya hulu potensial / jari-jari pengaruh

S = Kesimpnaan

T = Keterusan

t = waktu

Menurut *Jacop* (Mori dkk., 1999), jika hubungan antara jangka waktu (t) sejak pemompaan dimulai dan penurunan permukaan air (s) dalam sumur uji/pengamatan kira-kira merupakan garis lurus, maka berlaku :

$$T = \frac{2,3 \times Q}{4 \times \pi \times \Delta s} \quad S = \frac{2,25 \times T \times t_0}{r^2}$$

dimana : T = Koefisien Transmibisibilitas (m²/hari)

S = Koefisien Penampungan

Q = Besarnya pemompaan tetap

Δs = selisih s dalam satu siklus logaritmis dalam t

t₀ = waktu untuk s = 0 (hari)

r = jarak antara sumur pemompaan dan sumur uji/pengamatan (m)

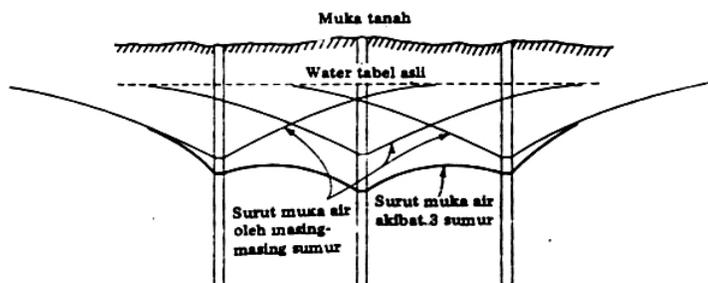
Apabila perhitungan berdasarkan dengan pemulihan permukaan air, jika besar pemompaan yang tetap Q, waktu sejak permulaan pemompaan t, waktu setelah pemompaan dihentikan t', selisih antara permukaan asli air dan pemulihan permukaan air s dan jikan hubungan antara s dan log (t/t') dibuat mendekati garis lurus yang melalui titik asal, maka dapat ditetapkan rumus sebagai berikut :

$$T = \frac{0,183Q}{s} \log \frac{t}{t'}$$

Dalam satu siklus logaritmis, log (t/t') = 1 dan selisih permukaan air Δs, maka :

$$T = \frac{0,183Q}{\Delta s}$$

Air dapat dipompa berturut-turut dari sumur artinya kondisi besarnya pemompaan yang tetap dapat diperoleh pada permukaan air yang tetap. Jadi air yang keluar dari sumur pertama-tama diperkirakan terjadi pada penurunan permukaan air dan umumnya air yang keluar sama dengan besar pemompaan. Penurunan muka air tanah pada sumur tunggal berbeda dengan penurunan muka air pada sumur yang banyak. Pada sumur yang banyak penurunan tersebut akan saling mempengaruhi, hal ini tergantung dari jarak antar sumur.



Gambar 2.18. Pengaruh Interferensi Antara Sumur-sumur (Linsley dkk., 1986).

2.2.6. Aliran Dalam Saluran Tertutup (Pipa)

Dalam perencanaan sistem penyediaan air baku dengan perpipaan, analisis hidraulika terutama dimaksudkan untuk menentukan dimensi bangunan dan fasilitas yang direncanakan.

2.2.6.1. Prinsip Dasar Aliran Dalam Pipa

Menurut Triatmojo (1995) aliran dalam pipa merupakan aliran tertutup dimana air kontak dengan seluruh penampang saluran. Jumlah aliran yang mengalir melalui lintang aliran tiap satuan waktu disebut debit aliran, secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

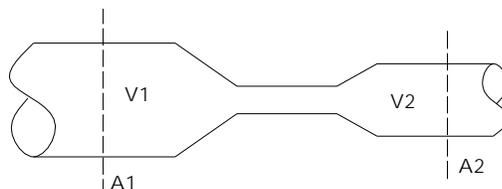
$$Q = A \times V \text{ (m}^2 \times \text{m/det} = \text{m}^3/\text{det)}$$

a. Persamaan kontinuitas

Pada setiap aliran dimana tidak ada kebocoran maka untuk setiap penampang berlaku bahwa debit setiap potongan selalu sama.

$$V_1 \times A_1 = V_2 \times A_2 \text{ atau,}$$

$$Q = A \times V = \text{Konstan}$$



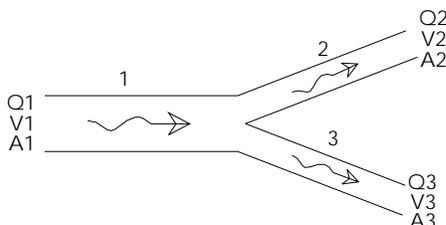
Gambar 2.19. Saluran Pipa Dengan Diameter Berbeda.
(Triatmojo, 1995)

Menurut Triatmojo (1995) untuk pipa bercabang berdasarkan persamaan kontinuitas, debit aliran yang menuju titik cabang harus sama

dengan debit yang meninggalkan titik tersebut, yang secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \text{ atau,}$$

$$A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2 + A_3 \times V_3$$



Gambar 2.20. Persamaan Kontinuitas Pada Pipa Bercabang.
 (Triatmojo, 1995)

b. Persamaan Bernoulli

Menurut Bernoulli Jumlah tinggi tempat, tinggi tekan dan tinggi kecepatan pada setiap titik dari aliran air selalu konstan. Persaman Bernoulli dapat dipandang sebagai persamaan kekekalan energi mengingat, z = energi potensial cair tiap satuan berat

$$\frac{m.g.z}{m.g} \approx z$$

$$\frac{p}{y} \approx \text{Tenaga potensial tekanan zat cair tiap satuan berat}$$

$$\frac{p.v}{m.g} \approx p \frac{m.g}{y} \approx \frac{F}{y}$$

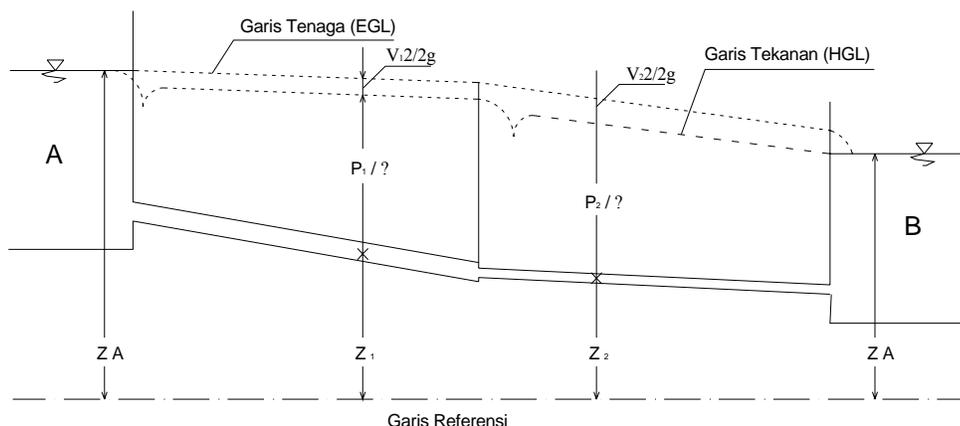
$$\frac{v^2}{2g} = \text{tenaga kinetik persamaan satuan berat} \frac{1/2 m.v^2}{m.g} \approx \frac{v^2}{2g}$$

Dengan neraca massa energi yang masuk sama dengan yang keluar energi di A = energi di B sehingga,

$$H = z + \frac{p}{y} + \frac{v^2}{2g}$$

$$z_a + \frac{p}{y} + \frac{v^2}{2g} = z_b + \frac{p}{y} + \frac{v^2}{2g}$$

**LAPORAN TUGAS AKHIR
PEMANFAATAN AIR TANAH UNTUK MEMENUHI AIR IRRIGASI
DI KABUPATEN KUDUS JAWA TENGAH**



Gambar 2.21. Garis energi dan garis tekanan (Triatmojo, 1995).

c. Persamaan Hanzen William

$$Q = 0,2785 \times C \times D^{2,63} \times S^{0,54}$$

Dimana :

Q = debit aliran (m³/det)

C = Koefisien kekasaran

D = Diameter pipa (m)

S = Slope pipa = *headloss*/panjang pipa (m/m)

Tabel 2.16. Nilai Koefisien C Hanzen Williams (Epanet 2, User manual dalam Akhirudin, 2008)

Jenis Pipa	Nilai C
1. New Cast Iron	130 – 140
2. Concrete or Concrete lined	120 – 140
3. Galvanized Iron	120
4. Plastic	140 – 150
5. Steel	140 – 150
6. Vetrivield Clay	110

2.2.6.2. Tekanan Air Dan Kecepatan Aliran

Jika tekanan air kurang, akan menyebabkan kesulitan dalam pemakaian air. Sedangkan tekanan air yang berlebih dapat menimbulkan rasa sakit karena terkena pancaran air, merusak peralatan plambing, dan menambah kemungkinan timbulnya pukulan air. Besarnya tekanan air yang baik pada suatu daerah bergantung pada persyaratan pemakai atau alat yang harus dilayani. Secara umum

dapat dikatakan besarnya tekanan standard adalah $1,0 \text{ kg/cm}^2$, sedangkan tekanan statik sebaiknya diusahakan antara $4,0 - 5,0 \text{ kg/cm}^2$ untuk perkantoran dan antara $2,5 - 3,5 \text{ kg/cm}^2$ untuk hotel dan perumahan. Disamping itu beberapa macam peralatan plambing tidak dapat berfungsi dengan baik kalau tekanan airnya kurang dari batas minimum.

Kecepatan aliran air yang terlampau tinggi akan dapat menambah kemungkinan timbulnya pukulan air, menimbulkan suara berisik dan kadang menyebabkan ausnya permukaan dalam pipa. Biasanya digunakan standard kecepatan antara $0,6-1,2 \text{ m/dt}$, dan batas maksimumnya antara $1,5 - 2,0 \text{ m/dt}$. Di lain pihak, kecepatan yang terlalu rendah ternyata dapat menimbulkan efek korosi, pengendapan kotoran yang mempengaruhi kualitas air (Morimura dkk., 1993).

2.2.6.3. Kehilangan Tekanan (*Headloss*)

Macam kehilangan tekanan adalah:

1. *Major losses*, terjadi akibat gesekan air dengan dinding pipa. Menurut Atang, (1983), besarnya kehilangan tekanan karena gesekan dapat ditentukan dengan formula umum dari Darcy, yaitu:

$$H_f = \lambda \times \frac{L}{d} \times \frac{v^2}{2g}$$

Dimana koefisien tahanan aliran λ merupakan fungsi dari bilangan Reynolds dan kekasaran relatif dari pipa. Bilangan Reynolds dapat dihitung dengan formula :

$$Re = \frac{v \times d}{u}$$

2. *Minor losses*, terjadi akibat perubahan penampang pipa, sambungan, belokan, dan katup. Kehilangan tenaga akibat gesekan pada pipa panjang biasanya jauh lebih besar daripada kehilangan tenaga sekunder, sehingga pada keadaan tersebut biasanya kehilangan tenaga sekunder diabaikan. Pada pipa pendek kehilangan tenaga sekunder harus diperhitungkan. Apabila kehilangan tenaga sekunder kurang dari 5 % dari kehilangan tenaga akibat gesekan maka kehilangan tenaga tersebut dapat diabaikan.

Untuk memperkecil kehilangan tenaga sekunder, perubahan penampang atau belokan jangan dibuat mendadak tapi berangsur-angsur.

Persamaan-persamaan untuk *minor losses* dapat dirunutkan sebagai berikut :

1. Kehilangan tekanan akibat masukan (*entrance*)

$$h_e = C_e \cdot \left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \right)$$

dengan: h_e = kehilangan masukan turbulen (m)

v_2 = kecepatan dalam pipa (m/dt)

v_1 = kecepatan sebelumnya (didekatnya, m/dt)

g = percepatan gravitasi (m/dt²)

C_e = koefisien kehilangan tenaga masukan.

Jika $v_1 = 0$, maka
$$h_e = C_e \cdot \left(\frac{v_2^2}{2g} \right)$$

2. Kehilangan tekanan akibat keluaran

$$h_o = C_o \cdot \left(\frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} \right)$$

dengan: h_o = kehilangan tenaga akibat keluaran (m)

v_1 = kecepatan pipa diatas keluaran (m/dt)

v_2 = kecepatan dibawah keluaran (m/dt)

C_o = koefisien kehilangan tekanan keluaran

Untuk keluaran air yang tenang $v_2 = 0$,
$$h_o = C_o \cdot \left(\frac{v_1^2}{2g} \right)$$

3. Kehilangan tekanan akibat kontraksi

$$h_c = C_c \cdot \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

dengan: h_c = kehilangan tinggi (m) karena kontraksi mendadak

C_c = koefisien kontraksi

v = kecepatan (m/dt) dalam pipa yang lebih kecil

Untuk rasio diameter 1,5 $C_c = 0.3$, rasio diameter 2.0 $C_c = 0.35$, rasio diameter 2.5 $C_c = 0.4$ dan seterusnya.

4. Kehilangan tekanan akibat perubahan (perbesaran) penampang

$$h_e = C_e \cdot \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

dengan: h_e = kehilangan tinggi akibat perbesaran penampang (m)

C_e = koefisien perubahan penampang

v = kecepatan aliran (m/dt)

Untuk rasio diameter 1.5 $C_e = 0.35$, rasio diameter 2.0 $C_e = 0.6$, rasio diameter 2.5 $C_e = 0.75$

5. Kehilangan tekanan akibat belokan

$$h_b = C_b \cdot \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

dengan: h_b = kehilangan tinggi, (m)

C_b = koefisien kehilangan tinggi belokan

6. Kehilangan tekanan akibat adanya perkakas (*fitting*)

$$h_f = C_f \cdot \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

dengan: h_f = kehilangan tenaga akibat adanya perkakas (m)

C_f = koefisien kehilangan tenaga karena adanya katup

Untuk *globe valve*, terbuka lebar $C_f = 10$

angle valve, terbuka lebar $C_f = 5$

gate valve, terbuka lebar $C_f = 0.2$

2.2.6.4. Analisis Aliran Pipa

Headloss dalam pipa air dapat dihitung melalui persamaan *Darcy – Weisbach* (Triatmodjo, 1995):

$$hf = \frac{fv^2}{2gd}$$

dimana :

h_f = headloss

f = koefisien kekasaran pipa

l = panjang pipa

d = diameter pipa

v = kecepatan

g = kecepatan gravitasi

Persamaan Darcy dapat ditransformasikan dengan persamaan *Chezy* adalah (Triatmodjo,1995) :

$$v^2 = \frac{2gd}{fl} h_f$$

$\frac{h_f}{l}$ = kemiringan garis energi atau kemiringan hidrolis = S

Untuk pipa penuh sehingga $R = \frac{A}{P} = \frac{d}{4}$

dimana :

A = luas permukaan pipa ($\frac{1}{4} \pi d^2$)

P = keliling basah πd

$$v^2 = \frac{8g}{f} RS \quad \text{atau} \quad v^2 = C^2 RS$$

dimana : $C^2 \frac{8g}{f}$

Sehingga $v = C\sqrt{RS}$

dalam persamaan *Chezy* nilai C harus diketahui. *Manning* dan *Strickler* dibangun dengan persamaan *Chezy*. Sehingga persamaan secara praktis adalah:

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{1}{6}} \cdot R^{\frac{1}{2}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \quad (\text{dimana } C = \frac{1}{6} R^{\frac{1}{6}})$$
$$= \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

dimana n = koefisien kekasaran

Jika nilai f dalam persamaan tersebut, nilai C konstan. Persamaan *Prant.V. Karman- Colebrook* dapat dilihat

Hidrolis untuk zona halus:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \left(\text{Re} \frac{vf}{2,51} \right)$$

Zona transisi:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \left(\frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{f}} + \frac{k}{3,71d} \right)$$

Hidrolis untuk zona kasar:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \left(\frac{3,71d}{k} \right)$$

dimana :

f = faktor gesekan

k = kekasaran absolut (m)

d = diameter (m)

k/d = kekasaran relatif

Re = angka Reynold = Vd/ν

dimana

V = kecepatan dalam pipa (m/sec)

ν = viskositas kinetik air = 1.206×10^{-2} (cm²/sec)
(1.206×10^{-6} (m/sec)) pada 13⁰C

2.2.7. Aliran Dalam Saluran Terbuka

Saluran terbuka digali di permukaan tanah dan umumnya berbentuk trapesium. Lapisan dinding dan dasar bisa menggunakan beton atau pasangan batu untuk mencegah rembesan. Tekanan air di dalam saluran sama dengan tekanan udara terbuka yaitu sebesar 1 atm.

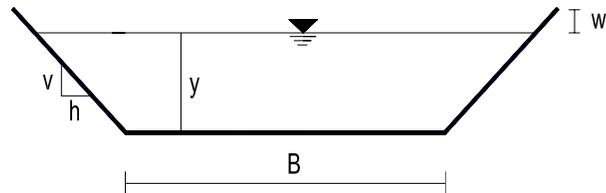
Kelebihan:

- a. Biaya relatif murah
- b. Dimensi saluran bebas, tidak mengikuti dimensi pasaran
- c. Dapat mengalirkan dengan kapasitas yang cukup besar

Kekurangan:

- a. Harus mengikuti HGL karena pengaliran secara gravitasi maka kecepatannya tergantung pada slope muka tanah

- b. Kapasitas air yang dibawa sebaiknya jauh lebih besar karena adanya kemungkinan kehilangan air akibat penguapan, rembesan ke dalam tanah, pengotoran, dan sebagainya
- c. Akar pohon, galian hewan dapat menyebabkan kerusakan pada saluran



Keterangan :

- B = Lebar saluran (m) v,h = vertikal, horisontal
- y = Kedalaman saluran (m) m = Kemiringan sisi tebing (v : h)
- w = Tinggi jagaan (m) n = Koefisien Manning

Gambar 2.22. Saluran Terbuka (Triatmodjo, 1995)

Luas penampang aliran : $A = (B + my)y$

Keliling basah : $P = B + 2y(1 + m^2)$

Jari-jari hidrolis : $R = \frac{A}{P}$

Debit aliran : $Q = AV = A \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$

2.2.8. Kolam Retensi

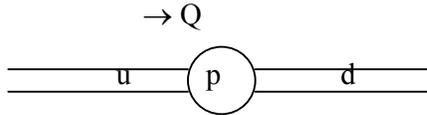
Perencanaan kapasitas bangunan penampung (kolam retensi) direncanakan berdasarkan debit mata air dan waktu tinggal air didalam kolam retensi. Kolam retensi berguna untuk menstabilkan tekanan air sebelum masuk ke pipa transmisi sehingga tekanan air yang akan melalui pipa transmisi tetap.

Adapun perhitungan kapasitas kolam retensi adalah sebagai berikut:

$$V_{\text{kolam retensi}} = \text{Debit kebutuhan (m}^3/\text{detik)} \times \text{Waktu detensi (detik)}$$

2.2.9. Pompa

Pompa berfungsi untuk menaikkan energi yang ada, secara umum dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.23. Pipa dengan Pompa (Kodoatie, 2005).

Persamaan energinya adalah:

$$H_d = H_u + H_p$$

dimana: $H_p = \frac{W_s}{\gamma Q}$

W_s = kerja pusaran/putaran (pusaran/putaran *propeler* pada pompa)

$W_s = \eta \times \text{kekuatan pompa (P)}$

η = faktor efisiensi

Kehilangan energi (h_f) pada saat pengaliran adalah:

$$h_f = \frac{8fL}{g\pi^2 D^5} Q^2$$

dimana: f = gesekan pada pipa (0,01-0,1)

L = panjang pipa (m)

D = diameter pipa (m)

Q = debit (m^3/detik)

Biasanya kekuatan pompa P dan faktor efisiensi η pada suatu pompa diketahui berdasarkan spesifikasi teknisnya. Untuk P biasanya didasarkan pada satuan kekuatan kuda (*housepower/HP*). Seperti diketahui $1 \text{ HP} = 145,70 \text{ kgm}^2/\text{s}^2 = 745,70 \text{ Watt}$ (Kodoatie, 2005).

Ada dua sistem pemasangan pompa pada jaringan perpipaan, yaitu (Kodoatie, 2005):

1. Sistem Pararel

Untuk pemasangan pompa sistem pararel maka besarnya total energi H adalah konstan, berapapun jumlah pompanya. Yang membesar adalah debitnya

**LAPORAN TUGAS AKHIR
PEMANFAATAN AIR TANAH UNTUK MEMENUHI AIR IRIGASI
DI KABUPATEN KUDUS JAWA TENGAH**

tergantung dari kekuatan masing-masing pompa. Jika pada pemakaiannya salah satu pompa tidak berfungsi, sebaiknya dipasang katup/*valve* supaya tidak terjadi arus balik pada sistem pipa paralel tersebut.

2. Sistem Seri

Walaupun tidak sesering pipa paralel, pipa seri dipasang dengan maksud untuk meninggikan total energi untuk suatu harga Q yang tetap.