

PAPER NAME

Buku Airtanah Revisi-3.pdf

AUTHOR

Nanang Saiful Rizal

WORD COUNT

19141 Words

CHARACTER COUNT

107218 Characters

PAGE COUNT

106 Pages

FILE SIZE

3.8MB

SUBMISSION DATE

Nov 12, 2022 8:45 AM GMT+7

REPORT DATE

Nov 12, 2022 8:46 AM GMT+7

● 20% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

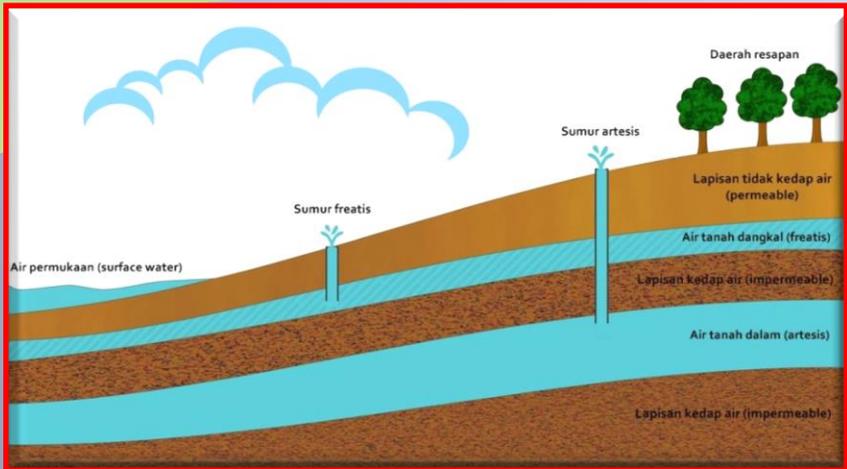
- 18% Internet database
- 3% Publications database
- Crossref database
- Crossref Posted Content database
- 12% Submitted Works database

● Excluded from Similarity Report

- Bibliographic material
- Quoted material
- Cited material
- Small Matches (Less than 10 words)
- Manually excluded sources
- Manually excluded text blocks

Dr. Nanang Saiful Rizal, ST., MT.

Teknik Pendugaan & Eksploitasi *Airtanah*



978-602-6988-06-5

Teknik Pendugaan & Eksploitasi AIRTANAH

Dr. Nanang Saiful Rizal, ST., MT.



Penerbit :

LPPM

Unmuh Jember

Jl. Karimata 49 Jember

TEKNIK PENDUGAAN & EKSPLOITASI AIRTANAH

Penulis :
Dr. Nanang Saiful Rizal, ST. MT.

ISBN : 978-602-71148-1-4

Editor :
Rahmat

Penyunting :
Rahmat

Desain sampul dan tata letak :
Rahmat

Penerbit :
LPPM Unmuh Jember

95 Redaksi :
Jl. Karimata 49 Jember
Telp. (0331) 336728
Fax. (0331) 337957
email : lppm@unmuhjember.ac.id

85 Distributor Tunggal :
LPPM Unmuh Jember
Jl. Karimata 49 Jember
Telp. (0331) 336728
Fax. (0331) 337957
email : lppm@unmuhjember.ac.id

Cetakan Ketiga, April 2022

53 Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa ijin
tertulis dari penerbit

KATA PENGANTAR

Puji dan sanjungan hanya bagi Allah semata, yang melimpahkan semua Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan buku **Teknik Pendugaan dan Eksploitasi Airtanah**. Penulisan buku ini berangkat dari pengalaman penulis selama membimbing mahasiswa yang mengalami kendala dalam memahami perkuliahan dan penyelesaian tugas yang terkait dengan airtanah karena keterbatasan buku referensi yang terkait dengan airtanah. Buku ini tersusun dalam sepuluh bab, pada sebagian bab setelah diberikan penjelasan teori akan diberikan contoh-contoh soal penyelesaian. Contoh-contoh penyelesaian ini dikumpulkan oleh penulis berdasarkan pengalaman penulis selama ini dalam proses belajar mengajar, membimbing tugas mahasiswa dan aktivitas penelitian.

Selanjutnya kami menyadari bahwa dalam penulisan buku ini masih terdapat kekurangan dan kami mohon masukan yang bersifat membangun. Akhirnya semoga buku ini dapat bermanfaat. Amien.

Jember, April 2022

Penulis

DAFTAR ISI

80

	Hal.
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
BAB I ALIRAN AIRTANAH	
1.1. Konsep Aliran Airtanah.....	1
1.2. Lapisan Pembawa Airtanah.....	3
1.3. Porositas Tanah.....	3
1.4. Sifat Kelistrikan Batuan	5
1.5. Pola Pengembangan Airtanah	7
1.6. Teknologi Pemanfaatan Airtanah	8
BAB II PENDUGAAN AIRTANAH	
2.1. Metode Pendugaan	11
2.2. Metode Geolistrik	12
2.3. Konfigurasi Schlumberger.....	13
2.4. Konfigurasi Wenner.....	15
2.5. Konfigurasi Weener – Schlumberger.....	16
2.6. Konfigurasi Dipole-dipole.....	17
BAB III APLIKASI SOFTWARE AIRTANAH	
3.1. Aplikasi IPI2Win	18
3.2. Contoh Proses Pengolahan Data.....	21
3.3. Aplikasi RES2DINV	23
3.4. Konfigurasi Wenner.....	25
3.5. Konfigurasi Dipole-Pole	26
BAB IV INTERPRETASI LAPISAN AIRTANAH	
4.1. Nilai Resistivitas Batuan	29
4.2. Hasil Interpretasi Batuan	31
BAB V TEKNIK PENGEBORAN AIRTANAH	
5.1. Umum.....	35
5.2. Klasifikasi Bor Airtanah.....	35
5.3. Bor Tangan.....	35
5.4. Bor Putar	38
5.5. Bor Mesin Tumbuk.....	40
5.6. Logging Geofisika	45
BAB VI UJI PRODUKSI AIRTANAH	
6.1. Umum.....	52
6.2. Metode Uji Pompa.....	52
6.3. Debit Optimum	57
6.4. Pompa Airtanah	59
BAB VII INSTALASI SUMUR AIRTANAH	
7.1. Umum.....	62
7.2. Tahapan Kegiatan.....	62
7.3. Pekerjaan Persiapan	62
7.4. Pekerjaan Pengeboran.....	63
7.5. Pekerjaan Pemasangan Pipa.....	64

BAB VIII	TEKNIK KONSERVASI AIRTANAH	
	8.1. Umum.....	70
	8.2. Lubang Resapan Biopori	71
	8.3. Sumur Resapan.....	73
	8.4. Polder.....	77
BAB IX	NERACA AIRTANAH	
	9.1. Umum.....	81
	9.2. Potensi Airtanah.....	81
	9.3. Kebutuhan Air Irigasi.....	83
BAB X	INTRUSI AIR LAUT	
	10.1. Umum.....	88
	10.2. Penyebab Instrusi Air Laut.....	89
	10.3. Mekanisme Instrusi Air Laut.....	89
	10.4. Proses Instrusi Air Laut.....	90
	10.5. Permasalahan Intrusi Air Laut.....	93
DAFTAR PUSTAKA	98

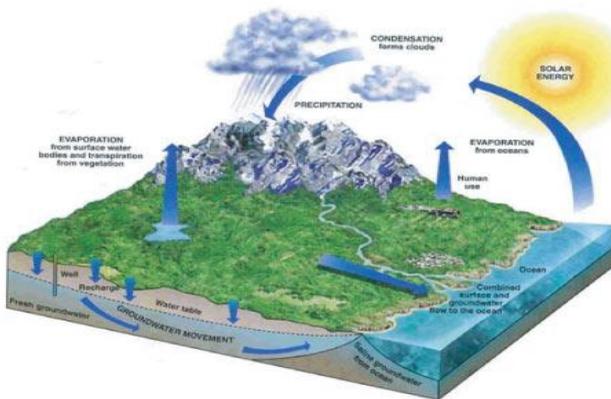
BAB 1

Aliran AIRTANAH

1.1. Aliran Airtanah

36 **Sumber daya air** adalah sumber daya berupa air yang berguna atau potensial bagi manusia. Kegunaan air termasuk airtanah meliputi penggunaan di bidang pertanian, industri, rumah tangga, rekreasi dan aktivitas lingkungan. Dari total keseluruhan sumber daya air, 97% air di bumi adalah air asin dan hanya 3% berupa air tawar yang lebih dari 2 per tiga bagiannya berada dalam bentuk es di glasier dan es kutub. Air tawar yang tidak membeku dapat ditemukan terutama di dalam tanah berupa airtanah dan hanya sebagian kecil berada di atas permukaan tanah dan di udara.

Airtanah adalah air yang menempati rongga-rongga dalam lapisan geologi. Airtanah dapat juga didefinisikan sebagai air yang terdapat di bawah permukaan bumi. Salah satu sumber airtanah adalah air hujan yang meresap ke dalam tanah melalui ruang pori antara butiran tanah, proses ini dikenal dengan siklus hidrologi.



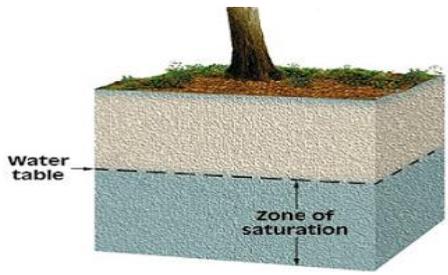
Gambar 1.1. Siklus hidrologi airtanah

76

116

63

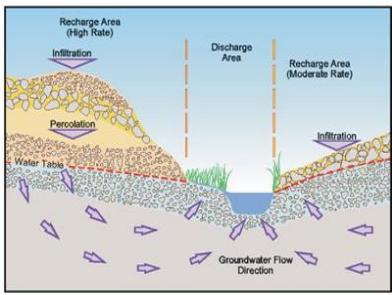
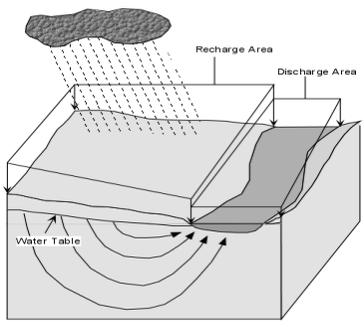
Air yang tidak tertahan dekat permukaan menerobos kebawah sampai zona dimana seluruh ruang terbuka pada sedimen atau batuan terisi air (jenuh air). Air dalam zona saturasi (*zone of saturation*) ini dinamakan air tanah (*ground water*). Batas atas zona ini disebut muka airtanah (*water table*). Lapisan tanah, sedimen atau batuan diatasnya yang tidak jenuh air disebut zona aerasi (*zone of aeration*).



Gambar 1.2. Water table dan zona jenuh air

60

Muka airtanah umumnya tidak horisontal, biasanya mengikuti elevasi permukaan tanah diatasnya. Apabila tidak ada hujan maka elevasi muka air di bawah bukit akan menurun perlahan-lahan sampai sejajar dengan lembah. Namun jika terjadi hujan, maka airtanah akan mengisi (*recharge*) lagi sehingga elevasi muka airtanah meningkat. Daerah yang air hujannya meresap kebawah (*precipitation*) sampai zona saturasi dinamakan daerah rembesan (*recharge area*), sedangkan daerah yang airtanah keluar dinamakan daerah penampungan (*discharge area*).



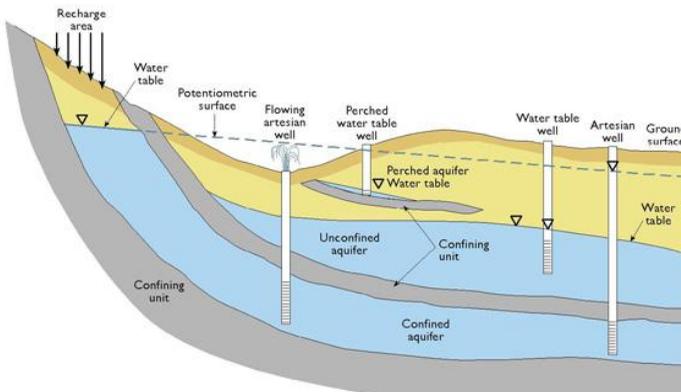
Gambar 1.3. Recharge dan discharge area

1.2. Lapisan Pembawa Airtanah

Airtanah mengalir melalui lapisan pembawa yang dinamakan aquifer. Berdasarkan litologinya, *aquifer* dibedakan menjadi empat jenis yaitu :

- Aquifer* bebas (*unconfined aquifer*) yaitu suatu *aquifer* dengan muka airtanah merupakan bidang batas sebelah atas daripada zona jenuh air.
- Aquifer* tertekan (*confined aquifer*) yaitu suatu *aquifer* dengan airtanah terletak di bawah lapisan kedap air (*impermeable*) dan mempunyai tekanan lebih besar dari tekanan atmosfer.
- Aquifer* bocor (*leakage aquifer*) yaitu suatu *aquifer* dengan letak airtanah terletak di bawah lapisan tanah setengah kedap air. Sehingga *Aquifer* terletak di antara *aquifer* bebas dan *aquifer* tertekan.
- Aquifer* menggantung (*perched aquifer*) yaitu airtanah yang mempunyai massa airtanah yang terpisah dari airtanah induk oleh suatu lapisan kedap air yang tidak begitu luas.

Ilustrasi jenis-jenis *aquifer* diatas dapat disajikan pada gambar 1.4.

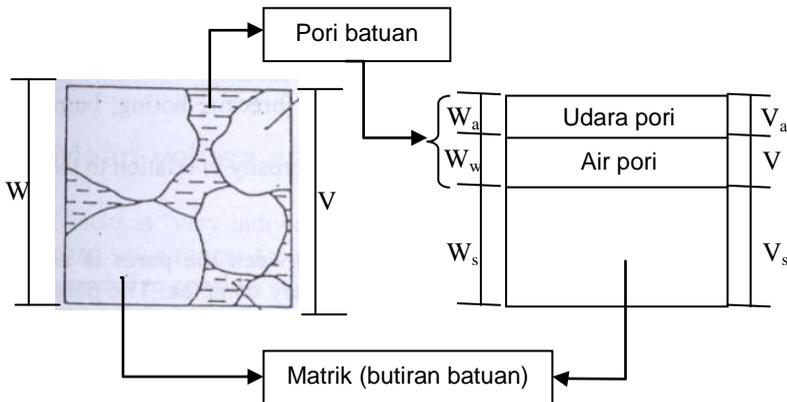


Gambar 1.4. Ilustrasi jenis-jenis aquifer

1.3. Porositas Tanah atau Batuan

Dalam proses hidrologi, air mengalami infiltrasi dan perkolasi sehingga menjadi airtanah. Proses infiltrasi dan perkolasi tersebut sangat dipengaruhi oleh porositas dari tanah. Sebuah tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian, pada tanah yang kering hanya akan terdiri dari

dua bagian, yaitu butir-butir tanah dan pori udara. Pada tanah yang jenuh juga terdapat dua bagian, yaitu bagian padat atau butiran dan air yang mengisi pori. Dalam keadaan tidak jenuh, tanah terdiri dari tiga bagian, yaitu butiran tanah, udara dan air yang mengisi pori. Bagian-bagian tanah ini dapat digambarkan dalam diagram blok seperti disajikan pada gambar 1.5.



Gambar 1.5. Elemen penyusun tanah

Dengan V merupakan volume dan W merupakan berat, sehingga dapat dirumuskan:

$$W = \text{berat matrik } W_s + \text{berat air } W_w$$

$$V = \text{volume matrik } V_s + \text{volume air } V_w + \text{volume udara } V_a$$

Setiap tanah atau batuan memiliki ukuran butir dan besar pori yang berbeda-beda. Adapun nilai porositas dari beberapa batuan disajikan pada tabel 1.1 dan tabel 1.2.

Tabel 1.1. Porositas beberapa jenis batuan sedimen terkait ukuran butirnya (J.H.Shon,2005)

Jenis batuan	Diameter butir (mm)	Densitas (g/cm^3)	Porositas (%)
Pasir kasar	0.5285	2.034	38.6
Pasir halus	0.1638	1.962	44.5
Pasir sangat halus	0.0988	1.878	48.5
Lanau pasiran	0.0529	1.783	54.2
Pasir lanauan	0.0340	1.769	54.7
Lanau	0.0237	1.740	56.2
Pasir lanau lempungan	0.0177	1.575	66.3
Lempung lanauan	0.0071	1.489	71.6
Lanau lempungan	0.0022	1.480	73.0

Tabel 1.2. Porositas beberapa jenis batuan terkait kompaksi

Jenis batuan	Porositas (bebas) %	Porositas (tertekan) %
Pasir laut	38.52	34.78
Pasir gunung	41.17	37.60
Kuarsa	48.13	41.20
Mika	93.53	86.62

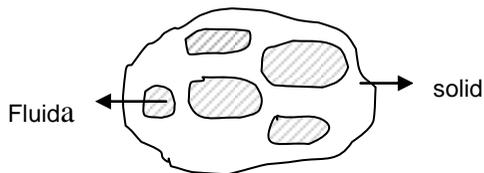
1.4. Sifat kelistrikan batuan

Batuan merupakan sebuah materi sehingga batuan juga mempunyai sifat-sifat kelistrikan. Sifat listrik batuan adalah karakteristik dari batuan bila dialirkan arus listrik ke dalamnya. Arus listrik ini dapat berasal dari alam itu sendiri akibat terjadi ketidakseimbangan atau arus listrik yang sengaja dimasukkan ke dalam batuan tersebut, sehingga pada batuan terdapat potensial listrik alam dan memiliki nilai konduktifitas.

Potensial listrik alam atau potensial diri disebabkan karena terjadinya kegiatan elektrokimia atau kegiatan mekanik. Faktor pengontrol dari semua kejadian ini adalah airtanah. Potensial ini berasosiasi dengan pelapukan mineral pada bodi sulfida, perbedaan sifat batuan (kandungan mineral) pada kontak geologi kegiatan bioelektrik dari materi organik korosi, gradien termal dan gradien tekanan. Potensial alam ini dapat dikelompokkan menjadi 4 yaitu:

a. Potensial elektrokinetik

Potensial ini disebabkan bila suatu larutan bergerak melalui suatu pipa kapiler atau medium yang berpori.



Gambar 1.6. Mekanisme potensial elektrokinetis

Fluida dalam batuan memiliki ρ (resistivitas) dan η (viskositas). Semakin besar viskositasnya maka semakin besar resistivitasnya, maka kemampuan untuk menyimpan energi listrik semakin kecil, seperti yang disajikan pada persamaan (1.1)

$$E_k = -(\phi \cdot \Delta P \cdot \varepsilon \cdot \rho) / 4\pi\eta \quad (1.1)$$

Dengan : ΔP = perbedaan tekanan
 ϕ = potensial adsorpsi
 ε = konstanta dielektris

Karena ada perbedaan tekanan menyebabkan fluida bermuatan didalam batuan bergerak-gerak dan dikarenakan pergerakan tersebut menimbulkan potensial yang dapat terukur.

b. Potensial difusi

Potensial ini disebabkan terjadinya perbedaan mobilitas dari ion dalam larutan yang mempunyai konsentrasi berbeda.

c. Potensial Nerst

Potensial yang timbul bila suatu elektroda dimasukkan kedalam larutan homogen.

d. Potensial mineralisasi

Potensial ini timbul bila dua elektroda logam dimasukkan ke dalam larutan homogen. Harga potensial ini paling besar bila dibandingkan dengan jenis potensial lainnya. Biasanya potensial ini timbul pada zona yang mengandung banyak sulfida, grafit dan magnetik.

Ilustrasi dari sebuah elektroda arus yang terletak di dalam permukaan bumi disajikan pada gambar 1.7. dapat dipandang sebagai sebuah titik arus yang mengalirkan arus listrik ke segala arah. Bidang ekuipotensial disetiap titik dalam bumi membentuk permukaan bola dengan jari-jari r . Besarnya arus dari elektroda C yang mengalir keluar secara radial ke segala arah adalah:

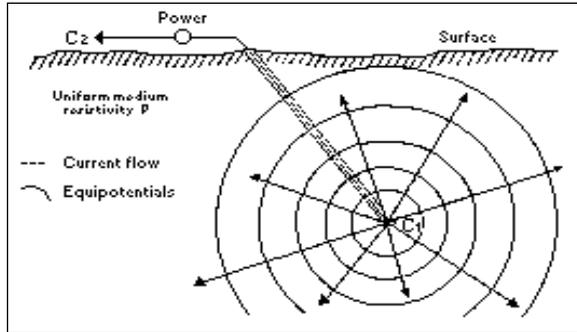
$$I = 4\pi r^2 J = -4\pi r^2 \sigma \frac{dV}{dr} = -4\pi \sigma A \quad (1.2)$$

Dari persamaan (1.2) didapatkan

$$A = -\frac{I\rho}{4\pi} \quad (1.3)$$

Sehingga dari persamaan (1.3) didapatkan

$$V = \left(\frac{I\rho}{4\pi}\right) \frac{1}{r} \text{ atau } \rho = \frac{4\pi r V}{I} \quad (1.4)$$



Gambar 1.7. Sumber arus titik dibawah permukaan medium homogen (Telford et al., 2004)

Bidang ekuipotensial dimanapun selalu ortogonal terhadap garis-garis aliran arus, yang membentuk permukaan bola dengan jari-jari oleh $r = \text{konstan}$.

1.5. Pola Pengembangan Airtanah

Pemerintah melalui Kementerian PUPR telah menetapkan bahwa pembangunan bidang pengairan dilaksanakan menurut urutan prioritas sebagai berikut :

- a. Tersedianya sumber air (baik air permukaan maupun airtanah) yang memenuhi persyaratan mutu dan banyaknya untuk air irigasi.
- b. Tanah dan lahan cocok untuk usaha pertanian tanaman padi atau tanaman lainya yang mempunyai nilai ekonomi tinggi.
- c. Tidak ada permasalahan atau sengketa tanah dalam daerah pengembangan fasilitas irigasi dan/atau daerah oncoran/pencetakan sawah.
- d. Peran serta petani dan sikap tanggap yang tinggi.
- e. Pemasaran hasil produksi yang mudah dan tidak terlalu jauh.
- f. Lokasi calon proyek irigasi tidak terlalu sulit dicapai atau terlalu jauh dari jalan umum.
- g. Lokasi calon daerah irigasi bukan daerah banjir.
- h. Pelaksanaan proyek dapat dilakukan sedemikian rupa sehingga cepat berfungsi dan memenuhi urutan prioritas.

Akibat pembangunan segala bidang yang maju dengan pesat, demikian pula pembangunan di sektor pertanian baik secara intensifikasi maupun ekstensifikasi menyebabkan cadangan air permukaan yang tidak ada tidak dapat lagi memenuhi kebutuhan. Hal ini terjadi terutama di musim

kemarau pada daerah yang mempunyai curah hujan sedikit atau pada aliran sungai yang mengalami kerusakan yang disebabkan oleh penebangan hutan. Sehingga untuk mengatasi kesulitan tersebut perlu dilaksanakan pengembangan sumber airtanah termasuk aliran sungai bawah tanah.

Pemilihan daerah pengembangan airtanah perlu dipertimbangkan beberapa hal sebagai berikut :

- a. Daerah yang tidak cukup tersedia sumber air permukaan untuk keperluan irigasi maupun air minum.
- b. Daerah yang mengalami kekeringan terutama pada musim kemarau, sehingga dibutuhkan penyediaan air tambahan baik untuk irigasi maupun air minum.
- c. Daerah tersebut mempunyai potensi air yang cukup baik.
- d. Kesanggupan petani untuk mengelola kegiatan operasi dan pemeliharaan (O & P) fasilitas air irigasi airtanah dan atau fasilitas air minum.
- e. Pemerintah daerah serta instansi terkait mendukung upaya pengembangan dan pembinaan kegiatan O & P
- f. Kondisi sosial ekonomi penduduk yang terbelakang dan miskin, yang membutuhkan upaya bantuan pengentasan kemiskinan. (*Direktorat Jenderal Pengairan, 1999 : 145*).

1.6. Teknologi Pemanfaatan Airtanah

Teknologi yang diterapkan bertujuan untuk menggunakan teknik penyadapan dan pengambilan yang sederhana dengan biaya investasi dan eksploitasi yang relatif rendah (*Direktorat Jenderal Pengairan, 1999 : 147*).

Sumur Penyadap Air

Dalam kondisi tertentu digunakan teknik penyadapan dan pengambilan airtanah disesuaikan dengan kondisi ketebalan dan kedalaman akuifer dengan model sebagai berikut (*Direktorat Jenderal Pengairan, 1999 : 147*) :

a. Sumur Gali

Adalah sumur yang digali dengan variasi diameter ± 1.00 meter, dengan kedalaman antara 5-12 meter, dibuat dengan cara menggali menggunakan peralatan sederhana dan menyadap muka airtanah preaktik dengan fluktuasi tergantung dengan curah hujan. Pengambilan air dengan ember atau pompa hisap, kapasitas 0.1-0.5 l/dt dan mampu mengaliri ± 0.2 ha.

b. Sumur Batrai Atau Ganda

Adalah suatu rangkaian sumur gali (2-6 sumur) yang dihubungkan satu sama lain untuk memperbesar kapasitas pengambilan air. Dibuat di daerah dengan aliran airtanah dangkal dan menyebar. Pengambilan air dengan pompa hisap berkapasitas 2-5 l/dt dan dapat mengairi lahan $\pm 2-6$ ha.

c. Sumur Gali Kombinasi Bor (Dug Bored Well)

Adalah sumur gali yang ditambah kedalamannya dengan pengeboran dangkal pada dasar sampai kedalaman ± 30 meter. Pengeboran ini dimaksudkan untuk menyadap akuifer bebas ditambah akuifer semi tertekan yang secara artesis keatas, kapasitas antara 3-10 l/dt. Pengambilan air dengan pompa hisap dan mampu mengairi lahan seluas 3-10 ha.

d. Sumur Bor Dangkal (Shallow Tube Well)

Adalah sumur yang dibuat dengan pengeboran tenaga manusia dengan menggunakan pipa naik berdiameter 2" kedalam sumur $\pm 30 - 40$ meter. Menyadap akuifer bebas dengan kapasitas 1 - 3 l/dt. Pengambilan air dengan pompa hisap dan mampu mengairi lahan seluas 1 - 3 ha.

e. Sumur Bor Menengah Atau Intermediate Tube Well (ITW)

Adalah sumur bor yang dibuat dengan mesin bor pada kedalaman 30 - 60 meter, diameter pipa 4" - 6" dan kapasitas debit ± 10 l/dt. Pengambilan air dengan pompa hisap. Sumur bor ini untuk menyadap pada akuifer bebas dan akuifer tertekan dan mampu mengairi lahan seluas 8 -12 ha.

f. Sumur Bor Dalam Atau Deep Tube Well (DTW)

Adalah sumur bor yang dibuat dengan mesin bor dengan kedalaman 60 - 150 meter, diameter pipa 6" - 12" dan pengambilan air dengan pompa turbin (vertikal turbine pump), pompa listrik selam (electric submersible pump). Sumur ini menyadap akuifer semi tertekan dan akuifer tertekan. Kapasitas debit yang disadap antara 15 - 60 l/dt dan dapat mengairi lahan seluas $\pm 15 - 60$ ha.

Sistem Jaringan Irigasi Air Tanah

Untuk mendapatkan daya guna tinggi pada sistim jaringan irigasi airtanah, maka dapat dibagi 4 (empat) macam sistim jaringan irigasi airtanah adalah sebagai berikut (*Direktorat Jenderal Pengairan, 1999 : 148*) :

- a. Pasangan batu pada saluran irigasi
- b. Saluran pra cetak beton parabolik
- c. Saluran beton pra cetak lokal
- d. Sistim jaringan irigasi air tanah pipa PVC tertanam

Sistim pipa PVC tertanam, sebagai salah satu sistim jaringan irigasi airtanah dengan efisiensi tinggi yang telah diterapkan dan diuji di proyek-proyek percontohan.

Adapun sistim jaringan irigasi airtanah dengan perpipaan PVC tertanam mempunyai keuntungan tambahan sebagai berikut :

- a. Tidak terpengaruh keadaan topografi (bergelombang, elevasi daerah oncoran lebih tinggi).
- b. Tidak terpengaruh sifat/jenis tanah (tanah berat/grumolis atau tanah ringan/pasir yang sangat porus)
- c. Biaya pembebasan lahan dapat ditekan
- d. Aliran air akan lebih cepat
- e. Bebas untuk menentukan jalur pipa
- f. Bebas untuk menentukan kran pengeluaran (outlet valve)
- g. Pipa PVC siap digunakan, mudah dan ringan
- h. Tekanan dalam pipa mempunyai tekanan yang besar.

BAB 2

Pendugaan AIRTANAH

2.1. Metode Pendugaan

64 Ada beberapa metode geofisika yang dapat digunakan untuk mengetahui kondisi lapisan geologi bawah permukaan (Verhoef, 1992:199) diantaranya:

a. **Metode Seismik.**

99 Dalam metode seismik penyelidikan didasarkan pada kecepatan rambat dari getaran suara, yang tergantung dari kerapatan material dan massa. Metode seismik terdiri dari metode refraksi seismik dan metode refleksi seismik.

b. **Metode Geolistrik.**

28 Pada metode geolistrik penyelidikan didasarkan pada variasi vertikal dan horizontal yang menyangkut perubahan dalam hantaran elektrik suatu arus listrik. Metode ini banyak digunakan dalam penentuan struktur geologi, ketebalan lapisan penutup, kadar kelembaban tanah dan permukaan airtanah.

c. **Metode Magnetik**

Metode magnetik merupakan salah satu bentuk pengukuran terhadap variasi dalam medan magnetik bumi. Metode ini banyak digunakan dalam pencarian material magnetik dalam lingkungan yang tidak magnetis atau sebaliknya.

13 d. **Metode Elektromagnetik VLF (Very Low Frequency)**

Salah satu metode yang banyak digunakan dalam prospeksi geofisika adalah metode elektromagnetik. Metode elektromagnetik biasanya digunakan untuk eksplorasi benda-benda konduktif. Perubahan komponen-komponen medan akibat variasi konduktivitas dimanfaatkan untuk menentukan struktur bawah permukaan. Medan elektromagnetik yang

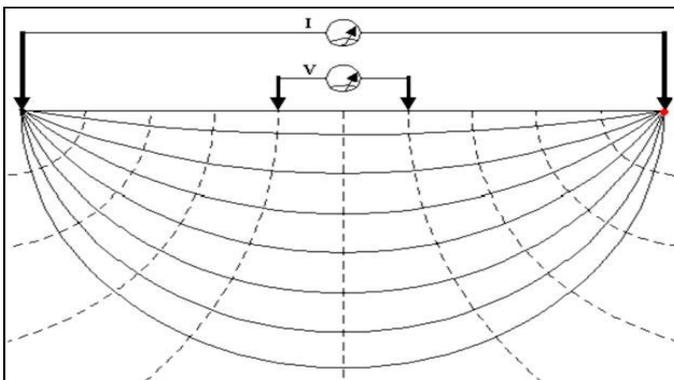
digunakan dapat diperoleh dengan sengaja membangkitkan medan elektromagnetik di sekitar daerah observasi, pengukuran semacam ini disebut teknik pengukuran aktif. Contoh metode ini adalah turam elektromagnetik.

Metode elektromagnetik VLF ini kurang praktis dan daerah observasi dibatasi oleh besarnya sumber yang dibuat. Teknik pengukuran lain adalah teknik pengukuran pasif, teknik ini memanfaatkan medan elektromagnetik yang berasal dari sumber yang tidak secara sengaja dibangkitkan di sekitar daerah pengamatan.

Gelombang elektromagnetik seperti ini berasal dari alam dan dari pemancar frekuensi rendah (15-30 KHz) yang digunakan untuk kepentingan navigasi kapal selam. Teknik ini lebih praktis dan mempunyai jangkauan daerah pengamatan yang luas.

2.2. Metode Geolistrik

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk pendugaan airtanah adalah metode geolistrik. Metode geolistrik merupakan metode yang digunakan untuk mempelajari sifat aliran listrik dengan cara mendeteksi pada permukaan bumi. Pendeteksian ini meliputi pengukuran potensial, arus dan medan elektromagnetik yang terjadi baik dengan penginjeksian arus maupun secara alamiah.



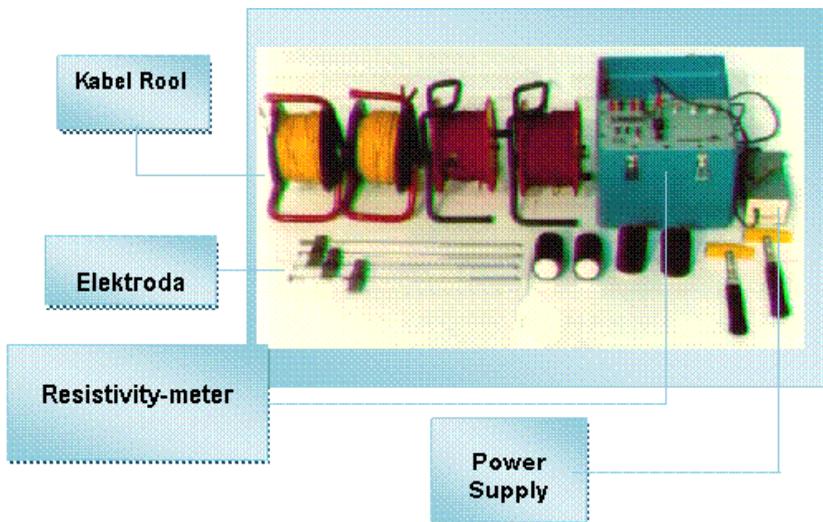
Gambar. 2.1. Cara Kerja Metode Geolistrik

Peralatan yang digunakan dengan metode geolistrik adalah *Resistivity-meter*, 4 rol kabel dengan panjang masing-masing sekitar 600 meter, elektroda arus dan elektroda potensial masing-masing 2 buah.

117 Salah satu metode geolistrik yang sering digunakan untuk mempelajari keadaan bawah permukaan bumi adalah metode tahanan jenis (resistivitas). 100 Metode geolistrik tahanan jenis ini dibagi menjadi dua, yaitu :

- Metode Resistivitas *Mapping*.
- Metode Resistivitas *Sounding* (*Vertical Electrical Sounding*).

Kedua metode ini dapat dilakukan dengan salah satu dari beberapa konfigurasi (susunan elektroda) yang ada, konfigurasi tersebut antara lain: Konfigurasi Wenner, Konfigurasi Schlumberger, Konfigurasi Wenner-Schlumberger dan Konfigurasi dipole-dipole. 109



Gambar. 2.2. Komponen Alat Geolistrik

2.3. Konfigurasi Schlumberger

Konfigurasi Schlumberger bertujuan untuk mencatat intensitas medan listrik dengan menggunakan pasangan elektroda pengukur yang berjarak rapat. Pada konfigurasi Schlumberger berlaku $OM = ON = \lambda$ dan $OA = OB = L$, sehingga tahanan jenis semunya adalah : 118

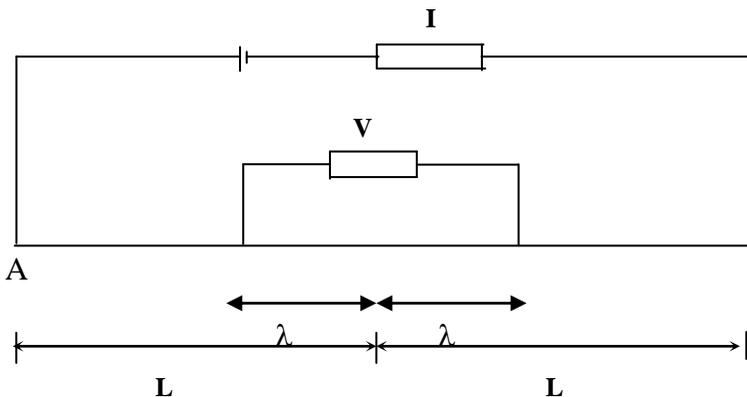
$$\rho_s = K_s \frac{\Delta V}{I} \quad (2.1)$$

$$K_s = \frac{\pi(L^2 - \lambda^2)}{2\lambda} \quad (2.2)$$

Dengan :

- ρ_s = Tahanan jenis semu (Ohmmeter)
- K_s = Faktor geometri yang tergantung dari kedudukan elektroda
- I = Arus dari penempatan dua elektroda potensial (m)
- L = Jarak dari penempatan dua elektroda arus listrik (m)
- π = 3.14

Pada konfigurasi Schlumberger jarak elektroda potensial relatif jarang diubah-ubah meskipun jarak elektroda arus selalu diubah-ubah. Jarak antar elektroda arus harus jauh lebih besar dibanding jarak antar elektroda potensial selama melakukan perubahan spasi elektroda. Dalam hal ini, selama pembesaran jarak elektroda arus, jarak elektroda potensial tidak perlu diubah. Hanya jika jarak elektroda arus relatif sudah cukup besar maka jarak elektroda potensial perlu diubah.

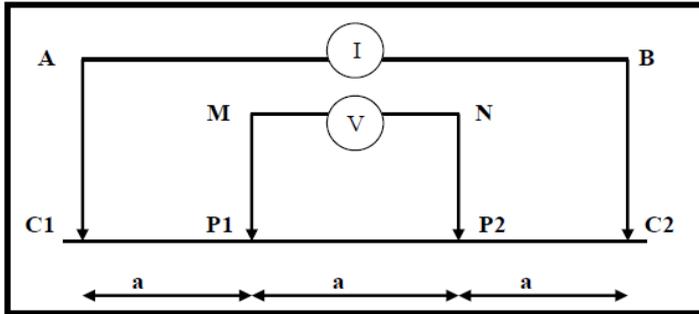


Gambar 2.3. Konfigurasi Schlumberger

2.4. Konfigurasi Wenner

Konfigurasi Wenner merupakan konfigurasi yang membutuhkan tempat yang luas. Konfigurasi ini tersusun atas 2 elektroda arus dan 2

elektroda potensial. Elektroda potensial ditempatkan pada bagian dalam dan elektroda arus pada bagian luar (**gambar 2.4**) .



Gambar 2.4. Konfigurasi Wenner

12 Dengan jarak antar elektroda sebesar a , pengukuran dilakukan dengan memindahkan semua elektroda secara bersamaan ke arah luar dengan jarak a selalu selalu sama ($AM=MN=AB$). Konfigurasi digunakan dalam pengambilan data secara lateral atau mapping. Faktor geometris untuk konfigurasi ini sebesar $2\pi a$, sehingga besar resistivitas semu adalah $\rho = 2\pi a V / I$

$$\rho_w = K_w \frac{\Delta V}{I} \quad (2.4)$$

Dengan :

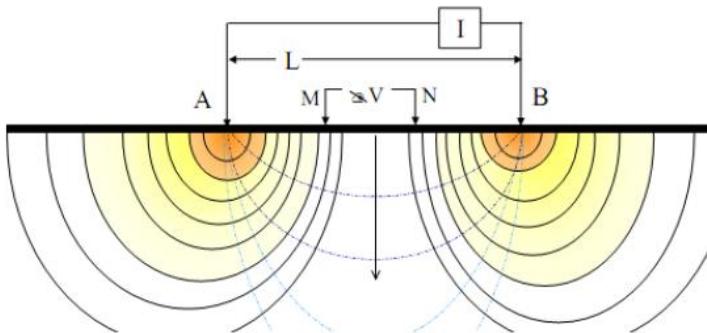
- 84 $K_w = 2\pi a$
- ρ_a = Tahanan jenis semu (Ωm)
- ΔV = Beda potensial (Volt) antara sepasang elektroda V_1 dan V_2
- I = Kuat arus (mA) yang dialirkan melalui elektroda C_1 dan C_2
- K = Faktor geometri (konstanta) jarak elektroda

21 Pada konfigurasi ini, jarak elektroda a harus seragam untuk tiap survei. Bila jarak elektroda AB misalnya 10 m, maka jarak elektroda MN adalah 3,3 m. Bila elektroda AB dibuat 12 m, maka MN adalah 4 m dan demikian seterusnya.

2.5. Konfigurasi Wenner – Schlumberger

Seperti konfigurasi Wenner, konfigurasi ini juga dapat digunakan untuk resistivity mapping maupun sounding. Perbedaannya hanya terletak pada letak elektroda-elektrodanya. Sedangkan cara pelaksanaannya

sama yaitu untuk resistivity mapping, jarak spasi elektroda dibuat tetap untuk masing-masing titik amat (titik sounding), sedangkan untuk resistivity sounding, jarak spasi elektroda diubah-ubah secara gradual untuk suatu titik amat. Untuk aturan Schlumberger, spasi elektroda arus jauh lebih lebar daripada spasi elektroda potensial.



Gambar 2.5. Konfigurasi Wenner-Schlumberger

Dengan :

$$K_{WS} = \pi n (n + 1) a \quad (2.5)$$

Menurut *Milsom* (2003) pada konfigurasi schlumberger secara prinsip adalah mengubah jarak elektroda arusnya. Namun semakin jauh elektroda arus dari elektroda potensialnya, maka potensial yang akan diterima oleh elektroda arus akan mengecil. Hal ini dapat dilakukan untuk menjaga sensitifitas pengukuran. Modifikasi tersebut dilakukan dengan memperluas elektroda potensialnya. Dampak perubahan tersebut hanya berpengaruh terhadap kurva perhitungan yang akan overlap. Namun hal ini tidak akan berpengaruh terhadap kehomogenan dari resistivitas materialnya.

Kelemahan dari konfigurasi schlumberger antara lain pembacaan tegangan pada elektroda MN lebih kecil terutama pada jarak elektroda AB yang relatif jauh. Untuk mengatasi hal ini diperlukan alat dengan *high impedance* atau arus injeksi dengan tegangan tinggi. Keunggulan dari konfigurasi ini adalah kemampuannya untuk mendeteksi adanya non-homogenitas lapisan batuan pada permukaan. Agar pembacaan pada konfigurasi schlumberger lebih akurat, pada jarak AB relatif jauh

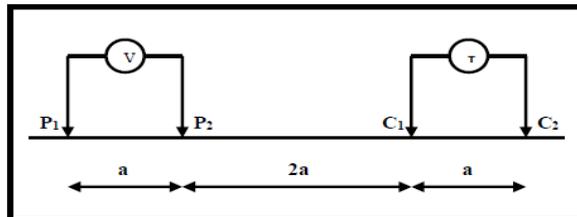
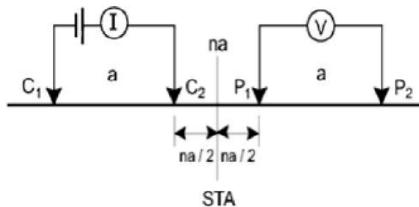
hendaknya menambahkan jarak MN atau jarak $AB/2 > 5MN/2$ atau ketika pembacaan MN sedemikian kecil. Persamaan resistivitas pada konfigurasi ini mengikuti persamaan :

$$\rho = \pi \left[\frac{AB - MN}{4MN} \right] \frac{\Delta V}{I} \quad (2.6)$$

2.6. Konfigurasi Dipole-dipole

Konfigurasi dipole-dipole menggunakan 4 elektroda yang terdiri dari 2 elektroda arus dan 2 elektroda potensial. Elektroda arus ditempatkan di urutan pertama kemudian elektroda potensial. Jarak antara $AB=MN$ sebesar a sedangkan elektroda arus dan potensial dipisahkan oleh jarak na dimana n merupakan faktor kali dari pemindahan elektroda potensial. Dengan susunan konfigurasi tersebut maka didapatkan nilai faktor geometris sebesar $\pi an(n+1)(n+2)$ dan resistifitas semu.

$$\rho = \pi an(n+1)(n+2) \frac{V}{I} \quad (2.7)$$



Gambar 2.6. Konfigurasi *Dipole-Dipole*

BAB 3

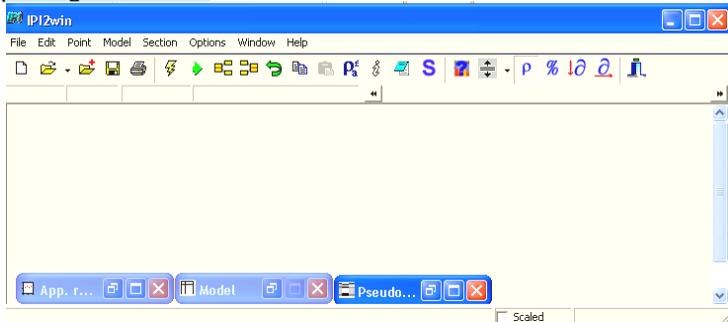
Aplikasi Komputer

Pendugaan AIRTANAH

3.1. Aplikasi IPI2Win

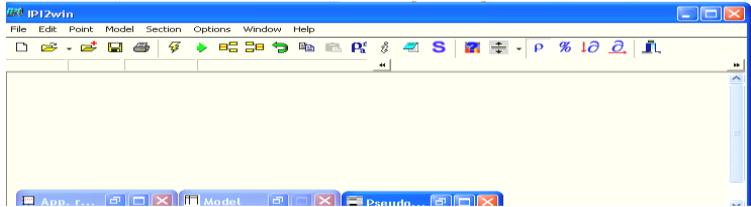
Pendugaan potensi airtanah dapat dilakukan dengan lebih mudah dan akurat dengan bantuan aplikasi komputer. Program untuk penentuan tahanan jenis yang sebenarnya ini adalah program IPI2Win. Dengan program ini tinggal memasukkan besarnya nilai tahanan jenis semu dari perhitungan sebelumnya, kemudian akan menampilkan besarnya nilai tahanan jenis yang sebenarnya dan jumlah lapisan bantuan. Pada awal program ini dibuka, tampilan menu utama dengan sub-sub menu pilihan yang dijelaskan sebagai berikut :

1. Buka Software IPI2win.exe, sehingga muncul tampilan seperti pada gambar 3.1.



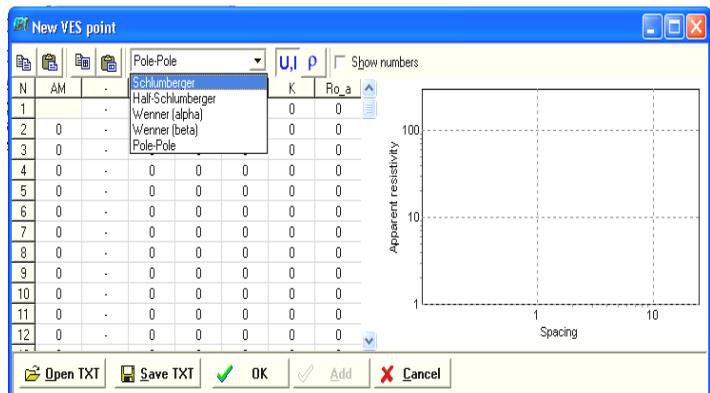
Gambar 3.1. Menu utama IPI2Win

2. Kemudian klik File, pilih VES point baru dengan mengklik ikon atau menekan tombol Ctrl+Alt+N untuk memulai proses input data tahanan jenis seperti pada gambar 3.2.



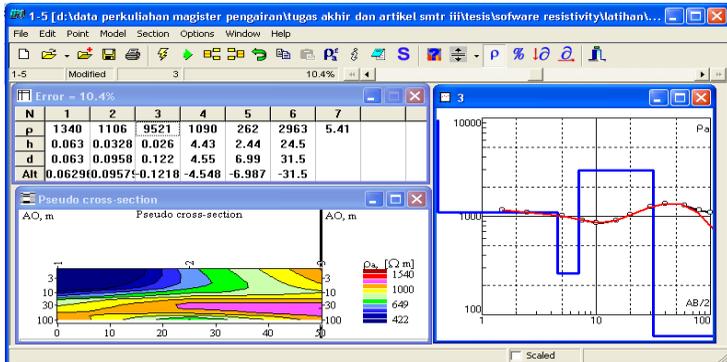
Gambar 3.2. Membuat VES point baru

- Setelah itu dipilih jenis konfigurasi Schlumberger. Kemudian dimasukkan nilai AB/2, MN dan nilai Rho-a. Secara otomatis software IPI2Win akan menghitung nilai K dan resistivitas semunya. Kemudian klik OK dan simpan dengan memberikan nama file yang mudah diingat.



Gambar 3.3. Pemilihan Konfigurasi

- Dari input data tersebut selanjutnya dilakukan pengolahan data dengan mengklik icon . Program IPI2Win akan menghitung nilai resistivitas serta menampilkan bentuk kurva log dari perhitungan tersebut seperti pada gambar 3.4.



Gambar 3.4. Input dan Inversi data

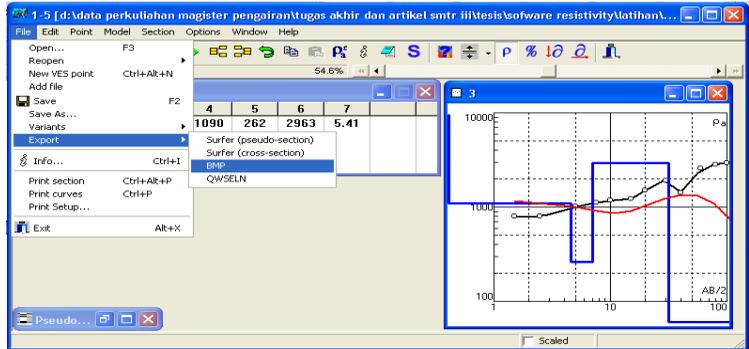
5. Setelah mendapat nilai resistivitas, data hasil analisis akan menampilkan tingkat error atau kesalahan yang mungkin dilakukan saat pengukuran data di lapangan atau saat pengolahan data. Pengolahan data yang baik disarankan memiliki nilai error maksimal 15%. Apabila melebihi batas tersebut diperlukan editing data.

6. Editing data dilakukan dengan mengklik icon P_a^E , kemudian mengeser kurva data lapangan seperlunya mendekati kurva standard sehingga perbedaan nilai error tidak terlalu ekstrim. Kemudian klik OK dan dilakukan inversi dengan demikian nilai errornya dapat diperkecil.



Gambar 3.5. Editing kesalahan data

7. Kemudian simpan data dan ekspor kedalam bentuk gambar. Klik file menu kemudian pilih export dan pilih bentuk BMP.

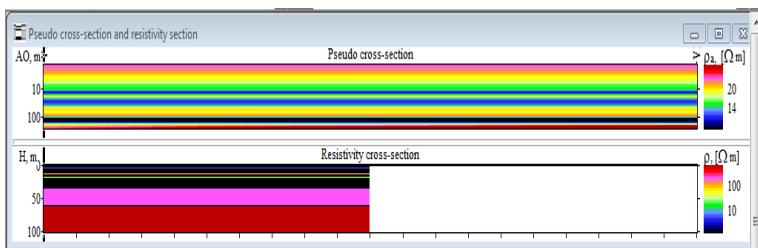


Gambar 3.6. Penyimpanan data dalam bentuk gambar

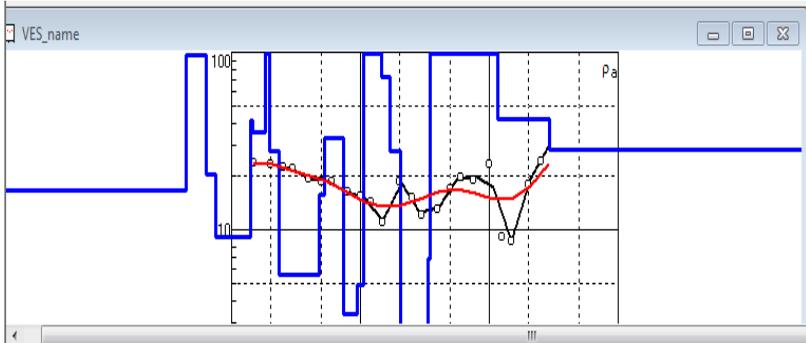
8. Pilih menu Exit untuk keluar dari program IPI2Win.

3.2. Contoh Proses Pengolahan Data

Sebagai contoh dalam proses pengolahan data, telah dilakukan pengambilan data pada 4 lokasi titik geolistrik. Dari hasil pengukuran geolistrik Metode Schlumberger ini telah didapatkan beberapa data pengukuran tahanan jenis seperti yang disajikan pada tabel 3.1.



Gambar 3.7. Tampilan nilai resistivitas program IPI2win



Gambar 3.8. Tampilan matching kurva VES

Tabel 3.1. Hasil pengukuran tahanan jenis (Metode Schlumberger)

$l/2$ L/2	0,5	5,0	10	25	v	l	RHO (v/i) ^{*k}
1.5	6,28				298,233	79,000	23,708
2.0	11,8				131,233	66,000	23,463
2.5	18,8				45,367	38,000	22,445
3.0	27,5				83,467	104,333	22,000
4.0	49,5				42,033	107,000	19,445
5.0	77,8				19,567	82,000	18,564
6.0	122,3				11,000	71,667	18,772
8.0	200,3				2,100	26,000	16,178
10.0	313,4				3,400	69,667	15,295
12.0	451,6				0,700	22,000	14,369
15.0	706.1	62,8			11,333	65,333	10,894
20.0	1255	177,8			3,967	38,000	18,560
25.0	1962	188,5			2,867	35,667	15,150
30.0	2826	274.9	125,7		26,567	278,000	12,012
40.0	5025	494.8	236,6		4,933	89,000	13,115
50.0	7853	777.5	377		4,533	101,000	16,921
60.0	11309	1123	549,8		4,533	125,667	19,834
75.0	17671	1759	867.9	314,1	12,200	202,333	18,939
100	31415	3133	1555	589	1,267	32,000	23,315
125		4900	2438	942,5	2,800	289,000	9,131
150		7060	3518	1374	1,767	281,000	8,638
200		12558	6267	2474	6,200	859,333	17,850
250		19627	9800	3887	7,567	374,000	78,641

Tabel 3.2. Nilai resistivitas setiap kedalaman tanah dan nilai error (%)

N	p	h	d	Alt
1	16.6	0.446	0.446	-0.4456
2	95.8	0.19	0.635	-0.6353
3	20.5	0.122	0.757	-0.7574
4	9.03	0.643	1.4	-1.4
5	41.4	0.0621	1.46	-1.462
6	35.3	0.383	1.84	-1.845
7	192	0.13	1.98	-1.975
8	27.9	0.38	2.36	-2.356
9	5.61	2.45	4.81	-4.806
10	15.8	0.503	5.31	-5.309
11	33.1	2.1	7.41	-7.406
12	3.35	1.99	9.39	-9.395
13	4.9	1.1	10.5	-10.49
14	118	4.17	14.7	-14.66
15	72.6	2.4	17.1	-17.06
16	27.7	3.33	20.4	-20.39

N	p	h	d	Alt
15	72.6	2.4	17.1	-17.06
16	27.7	3.33	20.4	-20.39
17	1.29	13	33.4	-33.35
18	6.84	1.64	35	-34.99
19	194	26.8	61.8	-61.81
20	7821	45.7	107	-107.5
21	106	8.81	116	-116.3
22	42	174	291	-290.8
23	28.2			

3.3. Aplikasi Software RES2DINV

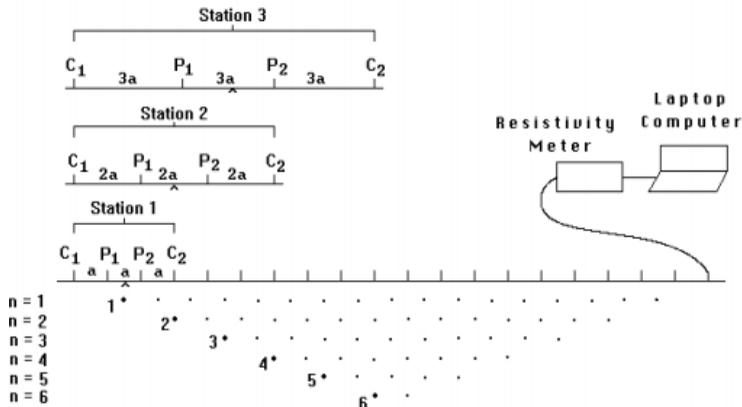
Adapun langkah akusisi data lapangan dengan aplikasi RES2DINV, mengikuti langkah berikut :

1. Buat skema pengambilan data di kertas milimeter blok
Hal ini dimaksudkan untuk memperlancar selama akusisi di lapangan, yaitu menghitung banyak data dengan mempertimbangkan faktor :
 - a. Konfigurasi yang dipergunakan
 - b. kedalaman target
 - c. panjang lintasan
 - d. kemampuan peralatan
 - e. jumlah personil
 - f. efisensi waktu
2. Buat lembar data berdasarkan skema yang telah dibuat pada milimeter blok, yaitu :
 - a. Wenner dan Schlumberguer

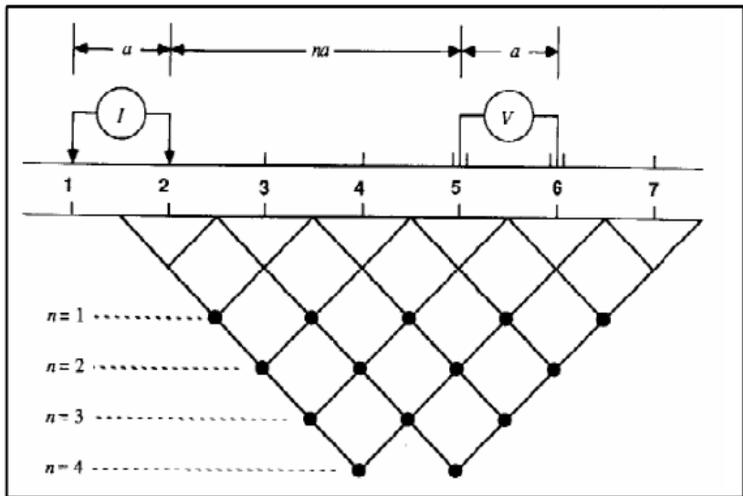
C1	P1	P2	C2	V (Volt)	I (Arus)

- b. Dipole - dipole

C1	C2	P1	P2	V (Volt)	I (Arus)



Skema Akusisi Data Wenner atau Schlumberguer



Gambar 3.9. Skema Akusisi Data Dipole – dipole

3. Lakukan pengambilan data sesuai dengan skema yang telah dibuat, dengan mencatat nilai V dan I. Perhatikan faktor penguatan beda potensial, semakin jauh jarak bentangan maka semakin besar penguatan beda potensial yang dilakukan.
4. Lanjut ke pengolahan data

3.4. Konfigurasi Wenner

Adapun tahapan pengolahan data 2 dimensi menggunakan Konfigurasi Wenner diuraikan sebagai berikut :

1. Catat nilai lapangan yang didapatkan pada MS.Excel

C1	P1	P2	C2	V	I	R	a	k	Rho
0	10	20	30	10	5	2	10	62.8	125.6
0	20	40	60	20	8	2.5	20	125.6	314
0	30	60	90	40	22	1.818182	30	188.4	342.5455
*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****

- C1, P1, P2, C2 : posisi elektroda pada meter ke –
V : beda potensial (satuan mV)
I : Arus listrik (satuan Ampere)
a : Jarak bentangan (P1 – C1 atau C2 – P2)
k : faktor konfigurasi ($k = 2\pi \times a$)
rho : resistivitas semu ($Rho = R \times k$)

2. Pindahkan data yang diperoleh pada notepad dengan ekstensi "dat"

The image shows a spreadsheet with columns for C1, P1, P2, C2, V, I, R, a, k, and Rho. The data rows are as follows:

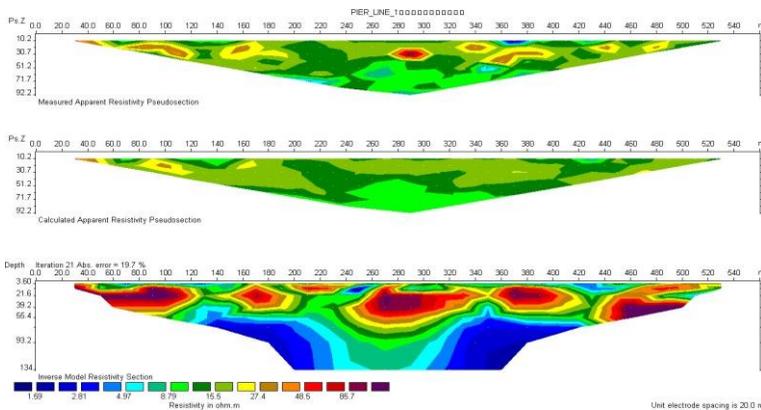
C1	P1	P2	C2	V	I	R	a	k	Rho
0	10	20	30	10	5	2	10	62.8	125.6
0	20	40	60	20	8	2.5	20	125.6	314
0	30	60	90	40	22	1.818182	30	188.4	342.5455
0	40	80	120	60	35	1.428571	40	251.2	425.6
0	60	120	180	100	55	1.818182	60	351.6	565.2
0	80	160	240	140	77	1.818182	80	451.2	725.6
0	100	200	300	200	110	1.818182	100	628	1015.2
0	120	240	360	280	154	1.818182	120	851.2	1365.2
0	140	280	420	380	208	1.818182	140	1125.6	1815.2
0	160	320	480	500	275	1.818182	160	1505.6	2415.2
0	200	400	600	700	365	1.818182	200	2512	3615.2
0	300	600	900	1000	455	1.818182	300	4512	7215.2
0	400	800	1200	1400	635	1.818182	400	7512	12115.2
0	600	1200	1800	2000	905	1.818182	600	15012	24115.2
0	800	1600	2400	2800	1265	1.818182	800	27012	42115.2
0	1000	2000	3000	3800	1745	1.818182	1000	45012	72115.2
0	1200	2400	3600	5000	2365	1.818182	1200	75012	121115.2
0	1400	2800	4200	6500	3165	1.818182	1400	112512	181115.2
0	1600	3200	4800	8500	4265	1.818182	1600	187512	281115.2
0	2000	4000	6000	11000	5665	1.818182	2000	352512	561115.2

Callouts from the right side of the image point to the following fields in the spreadsheet:

- Nama lintasan
- Spasi terpendek
- Kode untuk Wenner
- Jumlah data
- Tipe lokasi : 1 titik tengah, 0 titik awal
- 0 resistivity, 1 IP
- Posisi elektroda awal (C1)
- Jarak Spasi
- Nilai Rho
- Beri kode 0, 0, 0, 0 untuk lintasan tanpa topografi

3. Buka program Res2Dinv, pilih File – Read data File.

4. Pilih Inversion – Least Square inversion.



Gambar 3.10. Contoh hasil inversi Res2Dinv

- 5. Pilih Export – BMP atau screenshot.
- 6. Interpretasi hasil Inversi

3.5. Konfigurasi Dipole-pole

Pengolahan data 2 dimensi menggunakan Konfigurasi Dipole-Pole. Diuraikan sebagai berikut :

- 1. Catat nilai lapangan yang didapatkan dengan MS.Excel

C2	C1	P1	P2	V	I	R	n	k	Rho
0	10	20	30	10	5	2	1	188.4	376.8
0	10	30	40	20	8	2.5	2	753.6	1884
0	10	40	50	40	22	1.818182	3	1884	3425.455
*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	

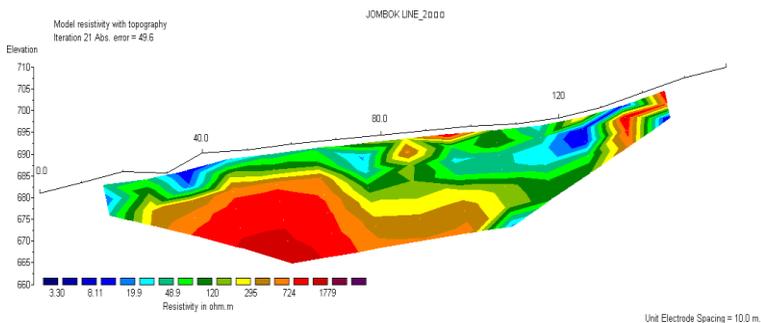
- C1, P1, P2, C2 : posisi elektroda pada meter ke –
- V : beda potensial (satuan mV)
- I : Arus listrik (satuan Ampere)
- n : faktor kelipatan dari C2-C1 dan P1-P2
- k : faktor konfigurasi
 $(k = n \times \phi \times (n+1) \times (n+2) \times a$
- a : jarak elektroda C2 - C1 atau P1 - P2
- rho : resistivitas semu ($Rho = R \times k$)

- 2. Pindahkan data yang diperoleh pada notepad dengan ekstensi "dat"

DIPOLE-DIPOLE			
3	10.0000		
95			
0			
0			
0.0000	10.0000	1.00000	37.6991
10.0000	10.0000	1.00000	11.8752
20.0000	10.0000	1.00000	65.2195
30.0000	10.0000	1.00000	7.5398
40.0000	10.0000	1.00000	46.5584
50.0000	10.0000	1.00000	15.2681
60.0000	10.0000	1.00000	94.6248
70.0000	10.0000	1.00000	35.0902
80.0000	10.0000	1.00000	102.1646
90.0000	10.0000	1.00000	42.2730
100.0000	10.0000	1.00000	109.8929
110.0000	10.0000	1.00000	68.9894
120.0000	10.0000	1.00000	159.8442
130.0000	10.0000	1.00000	92.3628
0.0000	10.0000	2.00000	136.4708
10.0000	10.0000	2.00000	33.9292
20.0000	10.0000	2.00000	10.5558
30.0000	10.0000	2.00000	8.5239
40.0000	10.0000	2.00000	217.1469
50.0000	10.0000	2.00000	236.7504
60.0000	10.0000	2.00000	289.3292
70.0000	10.0000	2.00000	400.3646
80.0000	10.0000	2.00000	160.5982
90.0000	10.0000	2.00000	81.4301
100.0000	10.0000	2.00000	168.1380
110.0000	10.0000	2.00000	9.0478
120.0000	10.0000	2.00000	123.6531
0.0000	10.0000	3.00000	194.1504

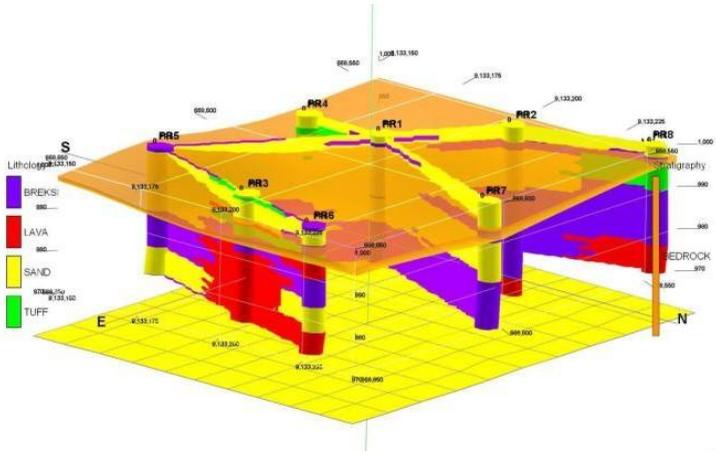
Nama lintasan
Spasi terpendek
Kode untuk Wenner
Jumlah data
Tipe lokasi : 1 titik tengah, 0 titik awal
0 resistivity, 1 IP
Posisi elektroda awal (C1)
Jarak Spasi
Faktor kelipatan (n)
Nilai resistivitas semu
Beri kode 0, 0, 0, 0 untuk lintasan tanpa topografi

2. Buka program Res2Dinv, pilih File – Read data File.
3. Pilih Inversion – Least Square inversion.

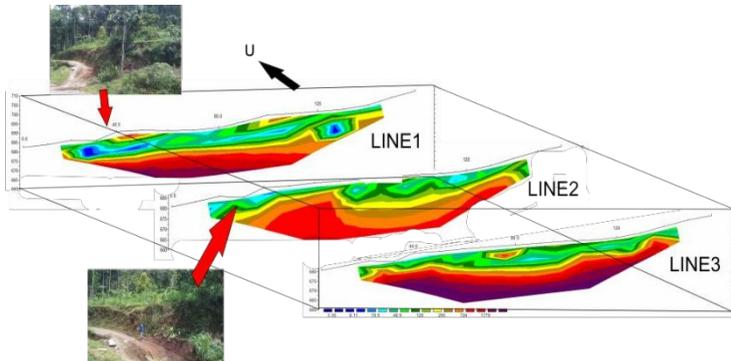


Gambar 3.11. Contoh hasil inversi Res2Dinv

4. Pilih Export – BMP, atau screenshot.
5. Interpretasi hasil Inversi



Gambar 3.12. Interpretasi Geolistrik 1 Dimensi



Gambar 3.13. Interpretasi Geolistrik 2 Dimensi

BAB 4

Interpretasi LAPISAN

AIRTANAH

4.1. Nilai Resistivitas Batuan

Penentuan lapisan batuan diperoleh dari hasil tahanan jenis yang sebenarnya dengan melihat tabel harga tahanan batuan. Harga-harga tahanan spesifik batuan banyak dikeluarkan oleh beberapa instansi, akan tetapi harga tersebut bersifat hanya melengkapi (lihat tabel 4.1 s/d 4.4). Secara umum harga tahanan spesifik disajikan dalam Tabel 4.1. Selain cara diatas penentuan lapisan batuan bisa membandingkan harga tahanan jenis sebenarnya dengan hasil dari log, sehingga dari perbandingan itu kita bisa mengetahui tahanan jenis sebenarnya dari batuan tersebut, harga tahanan jenis batuan selanjutnya dijadikan pedoman interpretasi di kawasan daerah itu.

Tabel 4.1. Harga tahanan jenis spesifik batuan

Jenis Material	Harga Resistivitas (ohm.meter)
Silt – lempung	10 – 200
Pasir	100 – 600
Pasir dan kerikil	100 – 1000
Batu pasir	20 – 200
Konglomerat Tufa	50 – 500
Kelompok andesit	100 – 500
kelompok andesit	20 – 200
Kelompok granit	100 – 200
Kelompok chart	1000 – 10000
Shale	200 – 2000

Sumber: Suyono, 1999

Tabel 4.2. Harga tahanan jenis spesifik batuan

Material	Harga Tahanan Spesifik
	(Ohm meter)
Air pemasuan	80-200
Airtanah Silt-lempung	30-100
Pasir	10-200
Pasir dan keripik	100-600
Batu Lumpur	100-1000
Batu pasir	20-200
Konglomerat	50-500
Tufa	100-500
Kelompok adesit	20-200
Kelompok granit	100-2000
Kelompok chert, state	1000-10000
	200-2000

Sumber: Suyono, 1999

Tabel 4.3. Harga tahanan jenis spesifik batuan

Rock Type	Resistivity Range ($\Omega \cdot m$)
Igneous and Metamorphic Rocks	$3 \times 10^2 - 10^5$
Granite	$1.7 \times 10^2 - 4.5 \times 10^4$
Andesit	$10^2 - 5 \times 10^4$
e Lavas	$10 - 1.3 \times 10^7$
Basalt	$2 \times 10^3 - 10^5$
Tuffs	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$
Slates various	$10^2 - 2.5 \times 10^8$
Marble	$10 - 2 \times 10^8$
Quartzites various	$20 - 2 \times 10^3$
Sediments Rocks	$10 - 8 \times 10^2$
Consolidates	$2 \times 10^3 - 10^4$
Shales Argillites	$1 - 6.4 \times 10^8$
Conglomerates	$50 - 10^7$
Sandstones	$3.5 \times 10^2 - 5 \times 10^3$
Limestones	20
Dolomite	3 - 70
Unconsolidates wet clay	1 - 100
Marls	10 - 800
Clays	
Alluvium and sands	
Oil sands	

Sumber : Blaricom, 1988

Tabel 4.4. Harga tahanan jenis spesifik batuan

Jenis Material	Harga Resistivitas (ohm.meter)
Tanah lempung	1.5 – 3
Lempung	3 – 15
Lemauan	15 – 150
Tanah lanau pasiran	150 – 300
Batuan dasar lembab	300
Pasi kerikil kelanauan	2400
Batuan dasar tak lapuk	2400
Kelompok cheret	20 – 200

Sumber : Roy E. Hunt, 1984

4.2. Hasil Interpretasi Batuan

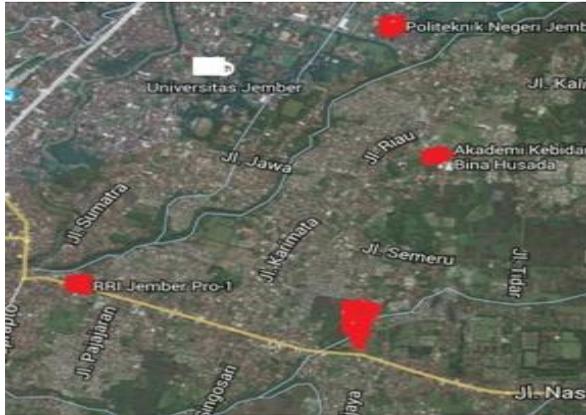
Hasil dari pengolahan data geolistrik yang dilakukan pada sebuah kawasan padat penduduk telah didapatkan interpretasi jenis batuan seperti yang disajikan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5. Hasil interpretasi jenis batuan

lapisan	error %	ρ ohm.m	Diskripsi Lapisan	Ketebalan
lapisan 1	13,4	16.6	Tanah lanauan, pasiran	0 – 0.446
lapisan 2	13,4	95.8	Lempung	0.446 – 0.635
lapisan 4	13,4	20.5	Tanah lanauan, pasiran	0.635- 0.757
lapisan 5	13,4	9.03	Lempung lanauan dan tanah lanau lembek	0.757 – 1.4
lapisan 6	13,4	41.4	Tanah lanauan, pasiran	1.4 -1.46
lapisan 7	13,4	35.3	Tanah lanauan, pasiran	1.46 – 1.84
lapisan 8	13,4	192	Batuan Dasar Bekekar Terisi Tanah Lembab	1.84 – 1.98
lapisan 9	13,4	27.9	Tanah lanauan, pasiran	1.98 – 2.36

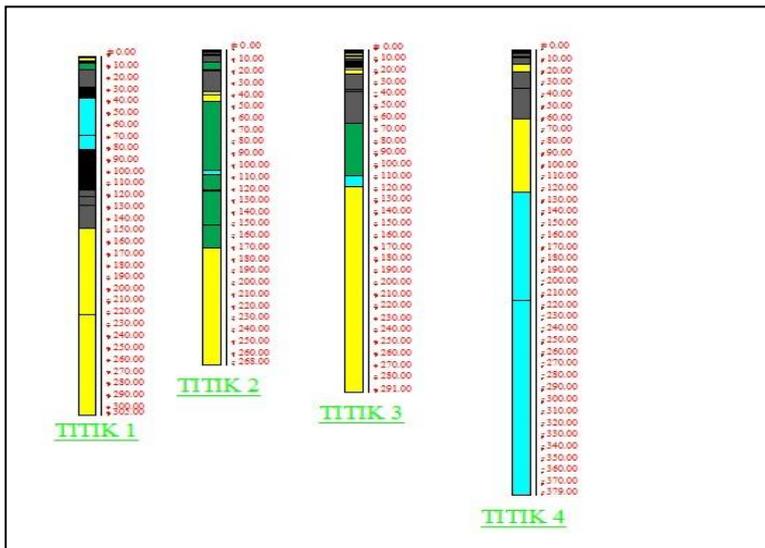
lapisan	error %	ρ ohm.m	Diskripsi Lapisan	Ketebalan
lapisan 10	13,4	5.61	Lempung lanauan dan tanah lanau	2.36 – 4.81
lapisan 11	13,4	15.8	Tanah lanauan, pasiran	4.81 – 5.31
lapisan 12	13,4	33.1	Tanah lanauan, pasiran	5.31 – 7.41
lapisan 13	13,4	3.35	Lempung lanauan dan tanah lanau lembek	7.41 – 9.39
lapisan 14	13,4	4.9	Lempung lanauan dan tanah lanau lembek	9.39 – 10.5
lapisan 15	13,4	118	Air Tanah	10.5 – 14.7
lapisan 16	13,4	72.6	Tanah lanauan, pasiran	14.7 – 17.1
lapisan 17	13,4	27.7	Tanah lanauan, pasiran	17.1 – 20.4
lapisan 18	13,4	1.29	Lempung lanauan dan tanah lanau lembek	20.4 – 33.4
lapisan 19	13,4	6.84	Lempung lanauan dan tanah lanau lembek	33.4 – 35
lapisan 20	13,4	194	Batuan Dasar Bekekar Terisi Tanah Lembab	35 – 61.8
lapisan 21	13,4	7821	Batuan dasar Tak Lapuk	61.8 – 107
lapisan 22	13,4	106	Air Tanah	107 – 116
lapisan 23	13,4	42	Tanah Lanau Pasiran	116 – 291

Untuk pendugaan kondisi hidrogeologi suatu kawasan dapat dilakukan dengan pendugaan geolistrik pada beberapa titik kemudian dihubungkan. Semakin semakin banyak titik pengamatan maka hasil interpretasi yang diperoleh akan semakin baik. Sebagai contoh pendugaan potensi airtanah pada 4 lokasi yang berada pada kawasan padat penduduk.

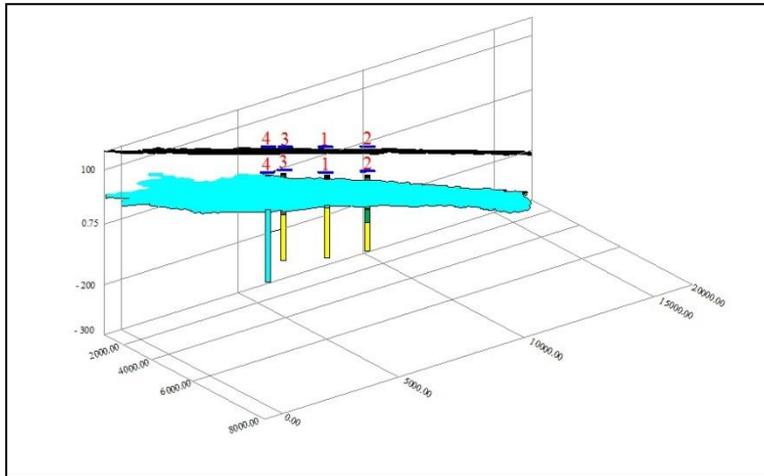


Gambar 4.1. Lokasi pengambilan data

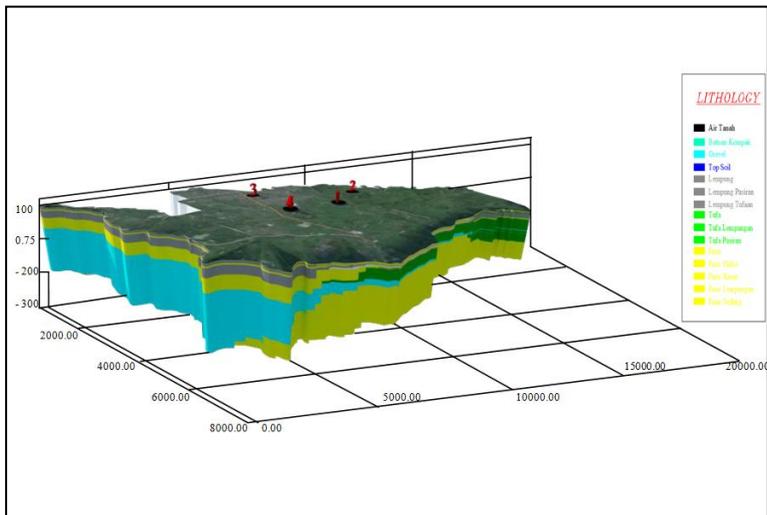
Dari hasil pengolahan data menggunakan program IPI2win pada empat titik tersebut diperoleh interpretasi kondisi hidrogeologi sampai dengan kedalaman 300 meter. Dari hasil tersebut dapat dibuat gambar log batuan pertitik, 2 dimensi dan 3 dimensi yang disajikan pada gambar 4.2, 4.3 dan 4.4.



Gambar 4.2. Interpretasi jenis batuan pada setiap titik pengukuran



Gambar 4.3. Interpretasi 2D jenis batuan pada sebuah kawasan



Gambar 4.4. Interpretasi 3D jenis batuan pada sebuah kawasan

BAB 5

Teknik PENGEBORAN

AIRTANAH

5.1. Umum

Perkembangan penggunaan instalasi bor airtanah semakin lama semakin meningkat selaras dengan kebutuhan akan air bersih bagi berbagai keperluan. Sejak Lama instalasi bor hanya dibuat oleh pabrik dengan berbagai nama yang dengan sendirinya sudah mempunyai spesifikasi dan klasifikasi masing-masing berdasarkan standar pabrik pembuatnya, yang tentunya mempunyai dampak harga barang pabrikan tersebut akan tinggi. Oleh karena itu berdasarkan pengalaman, beberapa pengusaha pengeboran air tanah mempunyai gagasan untuk melakukan pembuatan mesin bor dengan cara merekayasa serta merakit berbagai instalasi bor airtanah, dengan bahan dari barang-barang bekas yang masih layak dan laik pakai dengan seringkali dikombinasikan dengan barang-barang baru. Hasil rakitan instalasi bor ini tidak kalah kemampuan bekerjanya dengan instalasi bor airtanah pabrikan.

Melihat bentuk dan kemampuan instalasi bor air produk lokal atau rakitan tersebut, maka diperlukan standar tersendiri guna mewedahi dan mengklasifikasi kemampuan instalasi bor air produk lokal, agar bermanfaat dan mudah digunakan oleh pengguna jasa dalam pengeboran airtanah baik dalam eksplorasi maupun eksploitasi airtanah.

5.2. Klasifikasi Bor Airtanah

Dalam sejarah eksplorasi telah banyak jenis bor yang dipakai. Berikut adalah penggolongan jenis bor eksplorasi :

1. Bor Tangan : bor spiral dan bor bangka
2. Bor Mesin Putar : bor mesin ringan, bor inti (*core drill*), bor putar biasa (*rotary drill*), bor-alir balik (*counterflush drill*)
3. Bor Mesin tumbuk (*cable tool*)

Sebetulnya sulit untuk melakukan penggolongan metoda pengeboran. Alat bor tangan banyak yang dikembangkan dengan dilengkapi motor kecil, sedangkan banyak alat bor mesin yang dipasang pada truk dirancang untuk pemboran dangkal. Alat bor mesin putar berkisar dari yang portable sampai alat bor raksasa untuk eksplorasi minyak dan gas bumi.

5.3. Bor Tangan

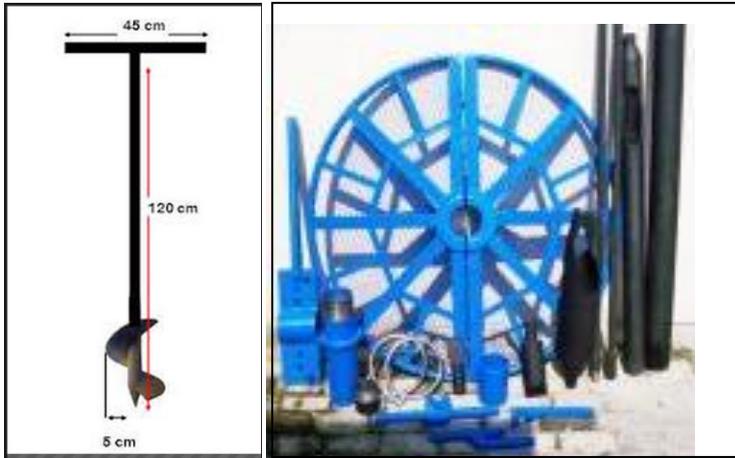
Metoda ini dipakai untuk eksplorasi dangkal seperti placer deposit dan residual deposit. Metoda ini digunakan pada umumnya pada tahapan eksplorasi rinci, namun adakalanya secara acak dan setempat dilakukan pada tahap eksplorasi tinjau, terutama pada sub tahap prospeksi umum. Ada 2 jenis alat ini, yaitu bor tangan spiral (*auger drilling*) dan bor bangsa (BBB).

Pemboran Spiral/Bor Spiral *Auger Drilling*, seperti penarik tutup botol, diputar dengan tangan. Contoh melekat pada spiral, dicabut pada interval tertentu (tiap 30 – 50 cm). Hanya sampai kedalaman beberapa meter saja, baik untuk residual deposit (bauxite, lateritic nickel) dan sebagainya.

Pemboran Bangsa/Bor Bangsa (BBB). Suatu alat bor tangan dikembangkan di Indonesia. Suatu alat selubung (*casing*) diberi platform, di atas mana beberapa orang bekerja. Pada prinsipnya sama dengan bor spiral dan tumbuk. Batang bor terdiri dari pipa masif yang disambung-sambung dengan bentuk :

1. Spiral
2. Senduk
3. Pahat/bentuk pahat (dihubungkan)

Pengambilan contoh dalam hal yang ditumbuk dengan bailer. Sambil bor berjalan dengan gerakan putar dan tumbuk, maka casing secara otomatis menurun karena beban orang di atas platform. Metoda ini dipakai untuk eksplorasi dangkal, seperti *placer deposit* dan *residual deposit*.



Gambar 5.1. Bor tangan dan bor bangka

22

Data geologi yang didapatkan dari pemboran tangan jarang berupa batuan, tetapi pada umumnya berupa tanah atau batuan lapuk dan sedimen lepas. Contoh yang didapatkan bukan merupakan contoh yang utuh (undisturbed sample), tetapi contoh yang terusik (disturbed sample). Ketelitian lokasi kedalaman contoh tergantung pula dari jenis mata bor yang digunakan. Contoh dari bor Spiral berupa tanah/lapukan batuan yang melilit pada spiral dan mewakili selang kedalaman setiap kali batang bor dimasukkan sampai ditarik kembali, sehingga selang kedalamannya dapat diatur setiap 50 cm atau setiap meter, tetapi maksimal tentu sepanjang spiral. Sampel dari mata bor sendok lebih terancam pencampuran, sedangkan yang menggunakan bumbung dengan katup lebih mewakili kedalaman yang tepat. Mata bor ini lebih banyak digunakan untuk sedimen lepas dan setiap sampel mewakili selang kedalaman dari mulai batang dimasukkan sampai ke pencabutan.

Pada sistem bor Bangka, sampel yang diambil lebih terpercaya karena penggunaan pipa selubung yang terus menerus, mengurangi pencampuran dari guguran dinding bor. Perekaman data pada umumnya data berupa litologi, serta batas-batasnya dan dapat dinyatakan dalam penampang berkolom atau profil yang dapat pula disebut sebagai log. Selain itu data kekerasan kualitatif dapat dicatatkan pula, demikian pula data muka airtanah yang dijumpai.

19

5.4. Bor Putar

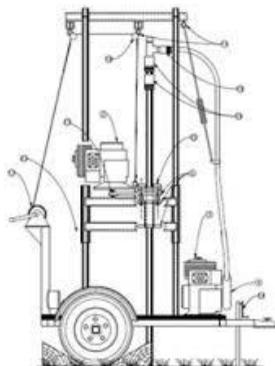
Ada berbagai macam jenis mesin bor putar, dari yang *portable* sampai pemboran raksasa seperti pada pemboran minyak yang dapat mencapai kedalaman beberapa kilometer. Ada berbagai jenis, dari mulai packsack (dapat diangkat di atas punggung) sampai bor besar harus dipreteli atau diangkat di truck. Alat pemboran (yang disebut *drilling-rig*) dinilai dari kemampuannya untuk mencapai kedalaman, kemampuan pengambilan sampel batuan dan kemampuan menentukan arah. Selain itu juga kemampuan bergerak di medan merupakan salah satu hal diperhatikan. Mesin-mesin pemboran putar ini mempunyai prinsip yang sama, namun berdasarkan kemampuannya dapat dibagi sebagai berikut :

- Bor mesin ringan (*portable drilling rig*)
- Bor mesin inti (*diamond drilling rig*)
- Bor mesin rotari (*rotary drilling rigs*)
- Bor mesin alir-balik (*counterflush drilling rig*)

Pada prinsipnya pemboran mesin putar mempunyai prinsip yang sama, yaitu :

1. Lubang dalam formasi dibuat oleh gerakan putar dari pahat untuk mengeruk batuan dan menembus dengan suatu rangkaian batang bor yang berlobang (pipa).
2. Rangkaian pipa bor disambungkan pada mesin sumber penggerak dengan berbagai macam alat transmisi, seperti *kelly* dan *rotary table*, *chuck* ataupun langsung.
3. Sumber penggerak (mesin bensin, diesel dan sebagainya) atau dengan perantaraan kompresor/motor listrik.
4. Pelumas/pendingin (air, lumpur, udara). Cairan pelumas dipompakan lewat pipa, keluar lewat pahar bor kembali lewat lubang bor di luar pipa (*casing*) atau sebaliknya.
5. Pompa sebagai penggerak/penekan cairan pelumas.
6. Pipa/batang di atas tanah ditahan/diatur dengan menggantungkannya pada suatu menara/*derrick* dengan sistem katrol atau dipandu lewat suatu rak (*rack*) untuk keperluan menyambunginya atau mencabut serta melepaskannya dari rangkaian.
7. Untuk memperdalam lubang bor rangkaian pipa bor ditekan secara hidrolik atau mekanik maupun karena bebannya sendiri.
8. Sampel batuan hasil kerukan mata bor didapatkan sebagai :
 - a. Serbuk atau tahi bor (*drill-cuttings*) yang dibawa ke permukaan oleh lumpur bor atau air pembilas. Serbuk penggerusan batuan

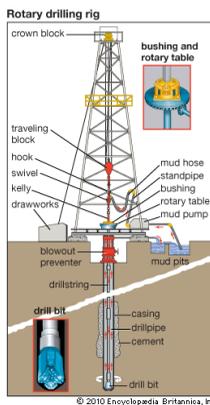
- dibawa oleh air pembilas ke permukaan sambil mendinginkan mata bor.
- b. Inti bor (*drill core*) yang diambil melalui bumbung pengambil inti (*core barrel*).
9. Untuk pengambilan inti mata bor yang digunakan bersifat bolong di tengah sehingga batuan berbentuk silinder masuk ke dalamnya dan ditangkap oleh core barrel. Mata bor ini biasanya menggunakan gigi dari intan atau baja tungsten.
10. Bumbung inti (*core barrel*) diangkat ke permukaan :
- a. Dicabut dengan mengangkat seluruh rangkaian batang bor ke permukaan setiap kali seluruh bumbung terisi.
 - b. Dicabut lewat tali kawat (*wireline*) melalui lubang pipa dengan kabel).
11. Pipa selubung penahan runtuhnya dinding lubang bor (*casing*) dipasang setiap kedalaman tertentu tercapai, untuk kemudian dilanjutkan dengan matabor yang berukuran kecil (*telescoping*). Pipa selubung dipasang untuk mengatasi adanya masalah seperti masuknya air formasi secara berlebihan (*water influks*), kehilangan sirkulasi lumpur pemboran karena adanya kekosongan, dalam formasi, atau lemahnya lapisan yang ditembus.



Gambar 5.2. Bor mesin ringan (*portable drilling rig*)



Gambar 5.3. Bor mesin inti dan alir balik



Gambar 5.4. Bor mesin rotary (rotary drilling rigs)

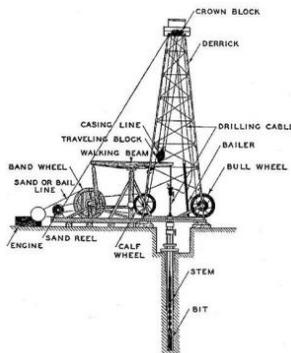
5.5. Bor Mesin Tumbuk (Percussion drilling)

Jenis mesin pemboran ini sudah jarang dipakai lagi dalam eksplorasi. Batuan dipecah dengan pahat yang ditumbuk dan sampel diambil dengan bailer atau drive sampler. Sampel yang di dapat tidak murni. Pemboran dengan jenis ini umumnya digunakan dalam eksplorasi dasar pada soil, gravel dan endapan pasir. Sebagian besar batuan yang dihasilkan telah mengalami gangguan, karena proses pemborannya dilakukan dengan menumbuk tanpa menimbulkan moment putar. Hasil dari pemboran tersebut kemudian dibawa ke laboratorium. Ada berbagai jenis mesin bor perkusi ini, antara lain yang disebut :

- a. Cable Tool Drilling Rig
- b. Hammer Drill atau Wagon Drill
- c. Downhole Hammer Drilling Rig
- d. Hammer Drilling Rig with Drive Sampler

a. Alat Bor Tumbuk Talikawat (Cable Tool Rig)

Alat cable tool rig, yang juga disebut churn drilling rig adalah alat bor yang paling tua yang digunakan untuk pemboran minyak maupun eksplorasi mineral dan kini masih dipakai. Alat ini bentuknya sederhana yang terdiri suatu menara berbentuk segitiga atau bentuk lain yang pada puncaknya dilengkapi dengan sistim katrol. Pada katrol ini dibentangkan talikawat baja yang disambungkan dengan suatu mesin motor penggerak lewat suatu roda gila sehingga memberikan gerakan turun naik pada ujung talikawat di bawah menara bor ini. Pada ujung talikawat ini digantungkan suatu mata bor berupa pahat yang dilengkapi batang logam sebagai pemberat diatasnya.



Gambar 5.5. Bor Bor Tumbuk Talikawat (Cable Tool Rig)

Penetrasi pada formasi dilakukan dengan menarik talikawat ke atas oleh mesin penggerak dan kemudian melepaskannya sehingga pahat menumbuk formasi di bawahnya. Setelah gerakan ini dilakukan beberapa kali, maka pahat diganti dengan suatu alat pengambil sampel yang disebut bailer suatu tabung atau bumbung baja yang dibawahnya diberi sistim katup. Dengan menjatuhkannya bailer ini ke dalam lubang maka hancuran batuan ataupun sedimen lepas masuk ke dalam tabung dan terperangkap oleh katup dan dapat

diangkat untuk memperolehnya. Air sering dimasukkan ke dalam lubang bor untuk membersihkan lubang, tetapi tidak dalam tekanan yang terlalu tinggi (maksimum 100 l/menit).

b. Hammer Drill (Bor Palu)

Mesin bor yang juga disebut Wagon Drill (Chaucier dan Morer, 1987) itu terdiri dari palu yang bergerak vertikal dan dipasang sepanjang suatu peluncur (slide) yang dipasang pada suatu kendaraan seperti truk atau traktor. Palu ini memukul-mukul suatu rangkaian batang bor yang pada ujungnya dipasang suatu matabor. Jenis Wagon Drills yang ringan (Atlas BVB) dapat mencapai kedalaman rata-rata 30 meter dan maksimum 50-60 meter. Jenis Wagon Drills yang besar (Atlas Roc 601) rata-rata 70 sampai 100 meter. Sampel yang didapatkan adalah serpihan batuan yang ditiup oleh udara yang dikompresikan melalui pipa bor dan ditangkan diluar oleh alat khusus yang disebut cyclone sample chamber. Kelemahan dari Wagon Drill adalah perolehan sampel yang kecil (5kg/m), karena diameter lubang yang didapatkan adalah 40-50 mm.



Gambar 5.6. Bor Palu (*Hammer Drill*)

c. Down-Hole Hammer Drill (Alat Bor Palu Dalam Lubang)

Pada alat bor ini palu didapatkan langsung dipasang di atas drive sampler berbentuk suatu silinder yang bergerak turun naik secara

lancar (smooth) dan digerakan oleh udara tertekan dari kompresor melalui pipa bor. Mata bor disini dapat pula melakukan gerak rotasi atau putar. Kedalaman rata-rata yang dapat dicapai alat ini adalah 80=100 meter, tetapi dapat pula dirancang untuk mencapai kedalaman 300-1000 meter dengan menggunakan pipa selubung (casing). Diameter lubang yang dibuat adalah 65-170 mm, sehingga dapat perolehan sampel (sample recovery) yang lebih besar daripada Wagon Drill. Namun biayanya 3 sampai 4 kali biaya pemboran permeter daripada Wagon Drill. Hammer Drill jenis ini diklasifikasikan sebagai bor palu ringan (Light Hammer Drill, Ingersoll type).



Gambar 5.7. Down-Hole Hammer Drill

d. Bor Tumbuk dengan Drive Sampler

Perkembangan dari bor tumbuk atau percussiu drilling adalah pemasangan apa yang disebut drive sampler sebagai pengganti matabor. Alat bor ini hanya cocok dipergunakan untuk lapisan tanah atau sedimen lepas. Alat ini berupa sepotong pipa dengan ujungnya terbuka dan tajam. Tabung baja ini mempunyai bentuk dengan panjang yang berlainan kurang lebih 91,44 cm dan diameternya (bagian luar) 7,62 cm. Alat ini dilengkapi dengan cincin (ring) yang gunanya untuk penyesuaian bila diameternya akan mencapai 12,7 cm. Sedangkan pada sampler bagian atas terdapat lubang untuk lewat air/lumpur pemboran yang dilengkapi dengan katub pengatur, katub ini gunanya untuk :

- a. Masuknya lumpur pemboran pada saat diangkat
- b. Mencegah cebakan udara dan air dalam tabung yang akan menjadi pengganggu naiknya sampel atau rusaknya sampel batuan.



Gambar 5.8. Hammer Drilling Rig with Drive Sampler

Katup bola pengatur tidak selalu efektif penuh, karena kadang-kadang hal itu akan menyumbat katub dan menahan untuk tetap terbuka. Drive sampler ini yang bertindak sebagai alat bor, mempunyai dinding dengan ketebalan 5 inci. Alat ini diselubungi dengan pipa pelindung (casing). Ada beberapa macam peralatan drive sampler, alat ini telah dikembangkan untuk berbagai macam soil yaitu dengan menggunakan dinding sampler yang tipis. Membuat dinding yang setipis mungkin ini dimaksudkan untuk pengendalian sisipan sampel batuan. Banyak juga drive sampler telah dikembangkan untuk berbagai mekanisme guna mendapatkan sampel batuan sebaik mungkin.

Pada proses pengeboran peranan lumpur bor (drilling mud) sangat penting, karena lumpur pengeboran ini memiliki beberapa fungsi, yaitu :

- a. Mengangkat serbuk bor ke permukaan, hal ini sangat penting sebab jika serbuk pengeboran tidak terangkat ke permukaan maka dapat menyebabkan buntunya saluran pengeboran dan akhirnya dapat menyebabkan terjepitnya pipa bor.
- b. Mendinginkan dan melumasi pahat/biit dan rangkaian pipa bor. Proses pendinginan dan pelumasan pada sebuah kegiatan pengeboran tidak boleh diabaikan sebab jika proses ini diabaikan dapat mengakibatkan lelehnya biit atau rangkaian pipa akibat gesekan dengan bidang bor, terlebih lagi jika menggunakan kecepatan rotasi tinggi dan dibarengi

- dengan pelumasan yang tidak baik maka hal ini akan lebih mempercepat lelehan bit.
- c. Mengontrol tekanan formasi. Karena dengan tekanan formasi maka lumpur bor yang baik maka tekanan formasi dapat terkontrol dengan baik. Maka perbandingan antara lumpur dengan air harus seimbang, lumpur tidak boleh terlalu kental atau terlalu encer.
 - d. Mencegah runtuhnya dinding lubang bor. Adanya lumpur bor yang baik dapat membantu penyanggan dinding sehingga keruntuhan dinding dapat kita hindari.
 - e. Melapisi dinding lubang bor dengan kerak lumpur. Teknologi yang ada sekarang ini dapat membuat lumpur bor yang dapat mengering pada dinding lubang bor sehingga dapat mengurangi longsor pada dinding bor.
 - f. Menahan serbuk bor dan material-material pemberat dalam bentuk suspensi bila sirkulasi atau pembersihan dihentikan sementara. Pada proses pengeboran jika terjadi sesuatu hal yang mengakibatkan sirkulasi lumpur terpaksa harus dihentikan. Pada serbuk bor yang mengendap sebab lumpur yang baik akan dapat menahan serbuk pengeboran dalam bentuk suspensi, tetapi jika lumpur bor yang kita gunakan kurang baik kemungkinan material pemberat dan serbuk bor mengendap cukup besar dan kemungkinan terjepitnya rangkaian pun menjadi besar pula.
 - g. Mengurangi beban rangkaian pipa bor dan selubung yang ditanggung oleh menara/rig. Pengeboran yang dilakukan tanpa lumpur. Bor yang baik, misalnya lumpur bor yang digunakan terlalu encer hal ini akan menyebabkan proses pelumasan kurang berjalan baik akan juga fungsi lumpur bor sebagai pembantu penyanggaan beban yang ditanggung oleh rig juga akan berkurang, oleh karena itu pemilihan lumpur bor harus benar-benar diperhatikan.

5.6. Logging Geofisika 74

Logging merupakan suatu grafik kedalaman/waktu dari suatu set data yang menunjukkan parameter diukur secara berkesinambungan di dalam sebuah sumur pemboran (Harsono, 1997). Prinsip dasar *wireline log* adalah mengukur parameter sifat-sifat fisik dari suatu formasi pada setiap kedalaman secara kontinyu dari sumur pemboran. Adapun sifat-sifat fisik yang diukur adalah potensial listrik batuan/kelistrikan, tahanan jenis batuan, radioaktivitas, kecepatan rambat gelombang elastis, kerapatan formasi (densitas) dan kemiringan lapisan batuan serta kekompakan formasi yang

kesemuanya tercermin dari lubang bor. *Well Logging* dapat dilakukan dengan dua cara dan bertahap yaitu:

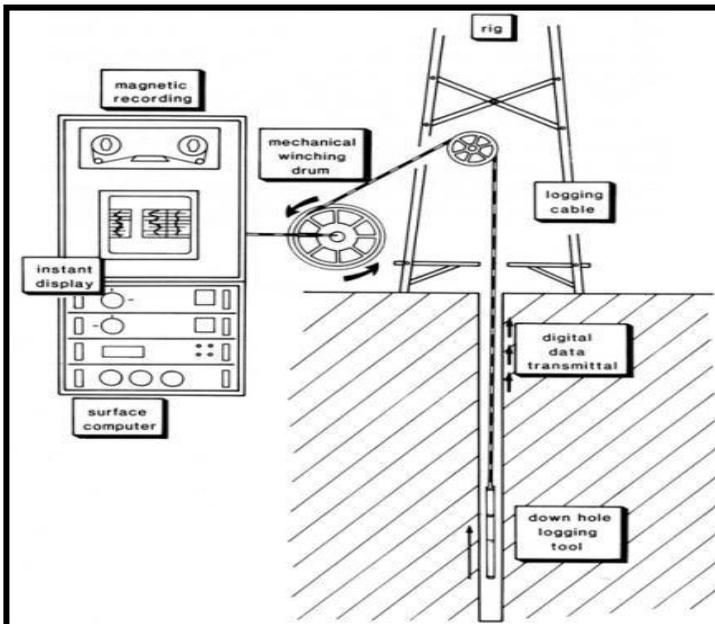
1. *Openhole Logging*

Openhole logging ini merupakan kegiatan logging yang dilakukan pada sumur/lubang bor yang belum dilakukan pemasangan casing. Pada umumnya pada tahap ini semua jenis log dapat dilakukan.

2. *Casedhole Logging*

Casedhole logging merupakan kegiatan logging yang dilakukan pada sumur/ lubang bor yang sudah dilakukan pemasangan casing. Pada tahapan ini hanya log tertentu yang dapat dilakukan antara lain adalah log Gamma ray, Caliper, NMR, dan CBL.

Secara kualitatif dengan data sifat-sifat fisik tersebut dapat menentukan jenis litologi dan jenis fluida pada formasi yang tertembus sumur. Sedangkan secara kuantitatif dapat memberikan data-data untuk menentukan ketebalan, porositas, permeabilitas, kejenuhan fluida dan densitas hidrokarbon.



Gambar 5.9. Skematik diagram dari pengaturan wireline logging(Harsono, 1997).

Log Listrik

Log listrik merupakan alat rekaman paling tua yang dipakai dalam industri perminyakan. Kurva-kurva SP dan resistivitas adalah merupakan rekaman standar yang harus ada dalam setiap penampang stratigrafi sumur bor. Kegunaan log listrik adalah untuk interpretasi litologi dan dapat juga digunakan untuk mendeteksi zona yang mengandung minyak atau tidak. Log ini juga dapat digunakan sebagai dasar dalam korelasi bawah permukaan.

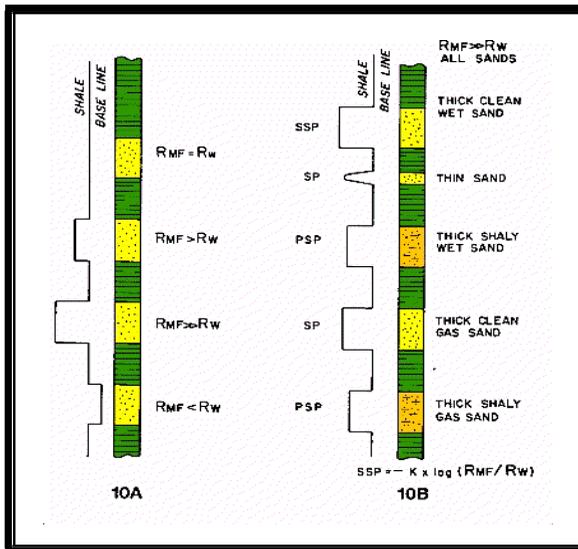
Log SP adalah rekaman perbedaan potensial listrik antara elektroda di permukaan dengan elektroda yang terdapat di lubang bor yang bergerak naik – turun. Supaya SP dapat berfungsi maka lubang harus diisi oleh lumpur konduktif. Log SP digunakan untuk :

- a. Identifikasi lapisan permeabel
- b. Mencari batas-batas lapisan permeabel dan korelasi antar sumur berdasarkan lapisan itu.
- c. Menentukan nilai resistivitas air formasi (R_w)
- d. Memberikan indikasi kualitatif lapisan serpih.

Pada lapisan serpih, kurva SP umumnya berupa garis lurus yang disebut garis dasar serpih, sedangkan pada formasi permeabel kurva SP menyimpang dari garis dasar serpih dan mencapai garis konstan. Pada lapisan permeabel yang cukup tebal yaitu garis pasir, penyimpangan SP dapat ke kiri atau ke kanan tergantung pada kadar garam air formasi dan filtrasi lumpur (Rider, 2002).

Log Neutron

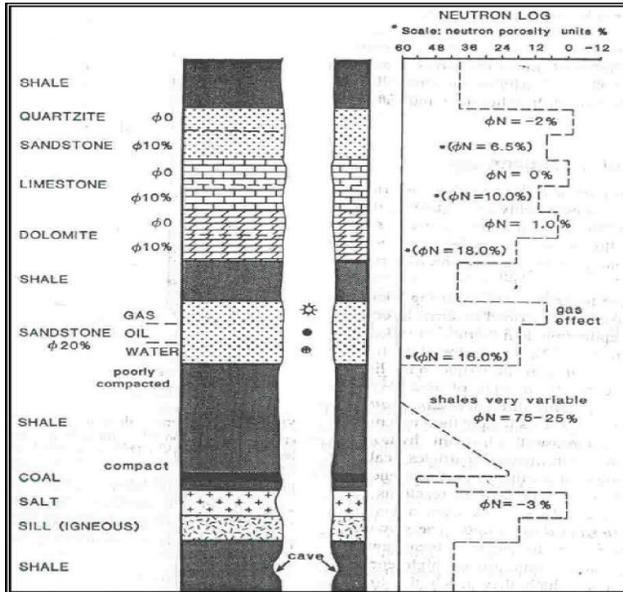
Prinsip dasar dari log neutron adalah mendeteksi kandungan atom hidrogen yang terdapat dalam formasi batuan dengan menembakan atom neutron ke formasi dengan energi yang tinggi. Neutron adalah suatu partikel listrik netral yang mempunyai massa hampir sama dengan atom hidrogen. Partikel-partikel neutron memancar menembus formasi dan bertumbukan dengan material formasi akibat dari tumbukan tersebut neutron akan kehilangan energi. Energi yang hilang saat benturan dengan atom di dalam formasi batuan disebut sebagai porositas formasi (ϕ_N). Hilangnya energi paling besar bila neutron bertumbukan dengan sesuatu yang mempunyai massa sama atau hampir sama, contohnya atom hidrogen. Dengan demikian besarnya energi neutron yang hilang hampir semuanya tergantung banyaknya jumlah atom hidrogen dalam formasi.



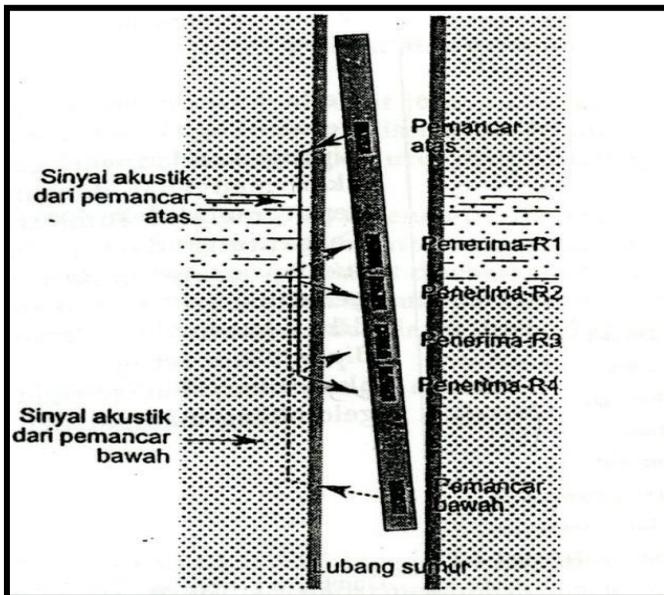
Gambar 5.10. Karakteristik Log Sp (G. Asquith, 1976)

Log Sonic

Log Sonic merupakan log akustik dengan prinsip kerja mengukur waktu tempuh gelombang bunyi pada jarak tertentu di dalam lapisan batuan. Prinsip kerja alat ini adalah bunyi dengan interval yang teratur dipancarkan dari sebuah sumber bunyi (transmitter) dan alat penerima akan mencatat lamanya waktu perambatan bunyi di dalam batuan (Δt). Lamanya waktu perambatan bunyi tergantung kepada litologi batuan dan porositas batumannya. Log sonik mengukur kemampuan formasi untuk meneruskan gelombang suara. Secara kuantitatif, log sonik dapat digunakan untuk mengevaluasi porositas dalam lubang yang terisi fluida. Interpretasi seismik dapat digunakan untuk menentukan *interval velocities* dan *velocity profile*, selain itu juga dapat dikalibrasi dengan penampang seismik. Secara kualitatif dapat digunakan untuk mendeterminasi variasi tekstur dari lapisan pasir-shaledan dalam beberapa kasus dapat digunakan untuk identifikasi rekahan (*fractures*) (Rider, 1996). Alat sonic yang sering dipakai pada saat ini adalah BHC (*Borehole Compensated Sonic Tool*). Alat ini sangat kecil dipengaruhi oleh perubahan-perubahan lubang bor maupun posisi alat sewaktu pengukuran dilakukan. Faktor-faktor yang mempengaruhi pengukuran antara lain adalah kepadatan, komposisi serpih, hidrokarbon, rekahan dan pori/gerohong, serta pengaruh dari lubang bor.



Gambar 5.15. Respon Log Neutron (Malcolm Rider, 2002)



Gambar 5.16. Sistem BHC (Harsono, 1997)

Log Densitas

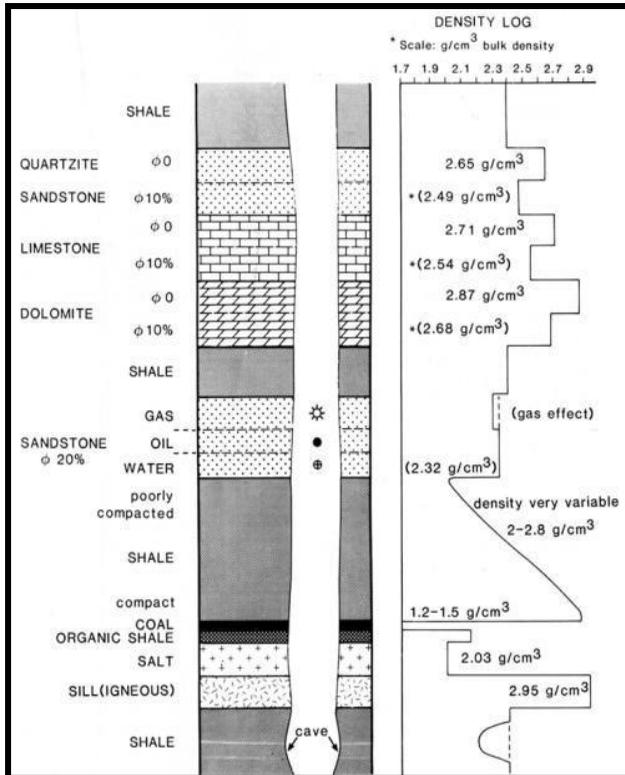
Log densitas merupakan kurva yang menunjukkan besarnya densitas (*bulk density*) dari batuan yang ditembus lubang bor dengan satuan gram / cm³. Prinsip dasar dari log ini adalah menembakkan sinar gamma kedalam formasi, dimana sinar gamma ini dapat dianggap sebagai partikel yang bergerak dengan kecepatan yang sangat tinggi. Banyaknya energi sinar gamma yang hilang menunjukkan densitas elektron di dalam formasi, dimana densitas elektron merupakan indikasi dari densitas formasi.

Bulk density (ρ_b) merupakan indikator yang penting untuk menghitung porositas bila dikombinasikan dengan kurva log neutron, karena kurva log densitas ini akan menunjukkan besarnya kerapatan medium beserta isinya. Selain itu apabila log densitas dikombinasikan dengan Log netron, maka akan dapat dipakai untuk memperkirakan kandungan hidrokarbon atau fluida yang terdapat di dalam formasi, menentukan besarnya densitas hidrokarbon (ρ_h) dan membantu dalam evaluasi lapisan *shaly*. Pada lapisan yang mengandung hidrokarbon, kurva densitas akan cenderung mempunyai defleksi ke kiri (densitas total (ρ_{ob}) makin kecil), sedangkan defleksi log netron ke kanan.

Pada batuan yang sangat kompak, dimana per satuan volume (cc) seluruhnya atau hampir seluruhnya terdiri dari matrik batuan porositasnya adalah mendekati atau nol. Dengan demikian batuan yang mempunyai densitas paling besar, dimana porositas (ϕ) adalah nol, dan ini disebut sebagai densitas matrik (ρ_{ma}). Pada batuan homogen dengan porositas tertentu, jika mengandung air asin akan mempunyai densitas lebih rendah dibanding dengan batuan yang seluruhnya terdiri dari matrik. Untuk yang mengandung minyak, densitas batuan lebih rendah daripada yang mengandung air asin, sebab densitas air asin lebih besar daripada minyak. Pada batuan homogen yang mengandung fluida gas, densitas batuan lebih rendah lagi daripada yang berisi minyak. Sedangkan yang mengandung batubara, mempunyai densitas paling rendah di antara jenis batuan yang mengandung fluida. Gambaran variasi harga densitas dari beberapa lapangan minyak dan gas bumi dapat dilihat pada Tabel 5.1. Harga-harga pada tabel 5.1 bersifat tidak mutlak tergantung dari karakteristik batuan setempat dan untuk meyakinkan adanya zona-zona air asin, minyak, dan gas masih perlu ditunjang dengan data-data lain seperti kurva SP, resistivitas, dan kurva neutron. Terkecuali lapisan batubara yang mempunyai harga densitas yang khas yaitu sangat rendah,

Tabel 5.1. Variasi harga densitas batuan dengan kandungan fluida tertentu dari beberapa lapangan minyak bumi (Harsono, 1997)

Batuan	Kandungan Fluida	Densitas (gram/ cc)
Shale	-	2,20 – 2,50
Lapisan clean	Air asin	2,25 – 2,45
Lapisan clean	Minyak	2,20 – 2,35
Lapisan clean	Gas	2,00 – 2,25
Lapisan batubara	-	1,60 – 1,90



Gambar 5.17. Respon log densitas terhadap batuan (Malcolm Rider, 2002)

BAB 6

Uji PRODUKSI

AIRTANAH

6.1. Umum

Sebelum melakukan pemasangan instalasi eksploitasi airtanah, maka perlu dilakukan uji pemompaan atau pumping test. Tujuan dilakukannya uji pompa adalah untuk menetapkan kemampuan produksi airtanah. Uji pompa dilakukan dengan pemompaan airtanah secara terus menerus, kemudian diukur debit airtanah yang keluar (Q) serta penurunan muka air pada airtanah (s). Dari data debit Q dan penurunan muka air s yang diukur dapat diperoleh kapasitas jenis sumur atau sebaliknya penurunan jenis sumurnya. Kapasitas jenis sumur merupakan ukuran kemampuan produksi suatu sumur.

6.2. Metode Uji Pompa

Metode yang banyak digunakan di Indonesia untuk melakukan uji pemompaan adalah metode **“Step Drawdown Test”**. Metode ini dilakukan dengan melakukan pemompaan secara terus menerus dengan perubahan debit secara bertahap pada sumur-sumur yang telah ditetapkan. Menurut Jacob, penurunan muka airtanah di sumur akibat pemompaan terdiri atas 2 komponen yaitu :

1. **Aquifer Loss (BQ)**, yaitu penurunan muka air yang disebabkan oleh aliran laminer pada akuifer itu sendiri. Nilai BQ bertambah secara linier terhadap perubahan debit dan sangat tergantung dari sifat hidraulik dari akuifer (formasi geologinya). Nilai ini bersifat alami sehingga tidak dapat diperbaiki.
2. **Well Loss (CQ²)**, yaitu penurunan muka air yang disebabkan oleh aliran turbulen di dalam sumur. Nilai CQ² bertambah secara kuadrat terhadap perubahan debit dan sangat tergantung dari karakteristik sumur uji (development, screen dll). Nilai ini dapat diperbaiki.

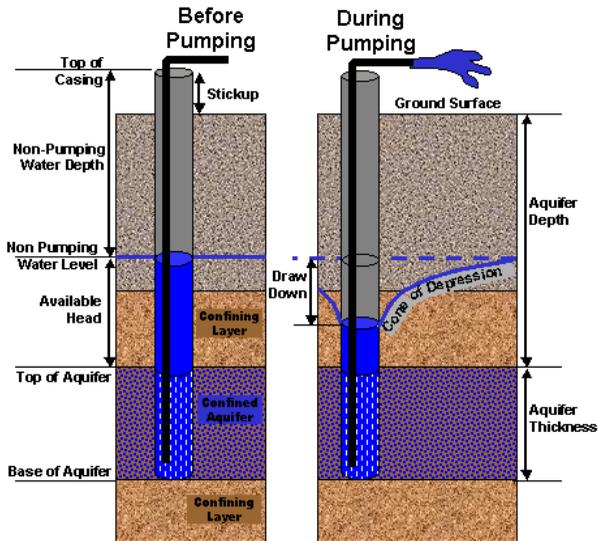
51

total penurunan muka air di sumur produksi pada kondisi keseimbangan tercapai dapat ditulis sebagai :

$$s_w = \frac{Q}{2\pi \cdot T} \ln\left(\frac{r_o}{r_w}\right) + CQ^n \quad (6.1.)$$

51

Dengan : C = koefisien yang dipengaruhi oleh jari-jari sumur, konstruksi dan kondisi sumur produksi



Gambar 6.1. Ilustrasi penurunan muka airtanah akibat pemompaan

Untuk menyederhanakan persamaan di atas, dibuat persamaan baru :

$$B = \frac{1}{2\pi \cdot T} \ln\left(\frac{r_o}{r_w}\right) \quad (6.2)$$

Sehingga total penurunan muka air di sumur dinyatakan sebagai :

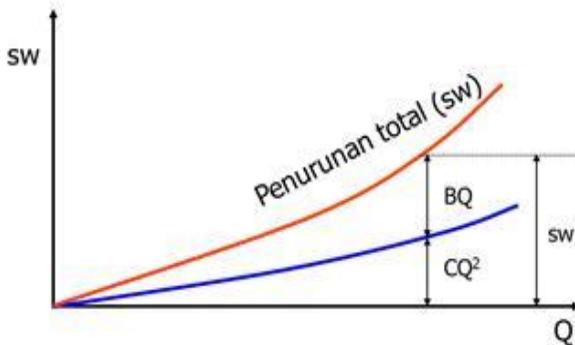
$$SW = BQ + CQ^2 \quad (6.3)$$

dengan :

B = koefisien akuifer loss (dt/m^2)

C = koefisien well loss (dt^2/m^5)

Bila hubungan ini digambarkan dalam suatu kurva diperoleh hubungan seperti yang disajikan pada gambar 6.2.



Gambar 6.2. Hubungan Penurunan Muka Air SW, BQ dan CQ^2

Sumur yang produktif menurut Walton dan Bierschenk adalah sumur yang mempunyai harga C dan Fd (faktor development) yang kecil.

$$Fd = \frac{C}{B} \times 100 \quad (2.4.)$$

Selanjutnya nilai C dan Fd disajikan pada tabel 6.1 dan tabel 6.2.

Tabel 6.1. Nilai C menurut Walton

C ($menit^2/m^5$)	Kondisi Sumur
< 0,5	Baik
0,5 - 1	Mengalami sedikit penyumbatan
1 - 4	Penyumbatan di beberapa tempat
> 4	Sulit dikembalikan seperti semula

Tabel 6.2. Nilai Fd menurut Bierschenk

F_d (hari/m ³)	Klas
< 0,1	Sangat Baik
0,1 - 0,5	Baik
0,5 - 1	Sedang
> 1	Jelek

Adapun langkah-langkah perhitungan adalah sebagai berikut :

1. Dari data hasil Step Drawdown Test pada setiap Q diperoleh nilai s_w yang konstan, maka selanjutnya hitung nilai s_w/Q untuk Q yang bersesuaian,
2. Plot titik-titik hubungan antara s_w/Q sebagai sumbu Y dan Q sebagai sumbu X pada skala normal.
3. Regresi titik-titik data tersebut dengan persamaan linier.
4. Nilai B diperoleh dari perpotongan garis regresi dengan sumbu Y.
5. Nilai C diperoleh dari kemiringan garis regresi, atau :

$$C = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \text{tg } \alpha \quad (2.5)$$

Contoh Soal – 1:

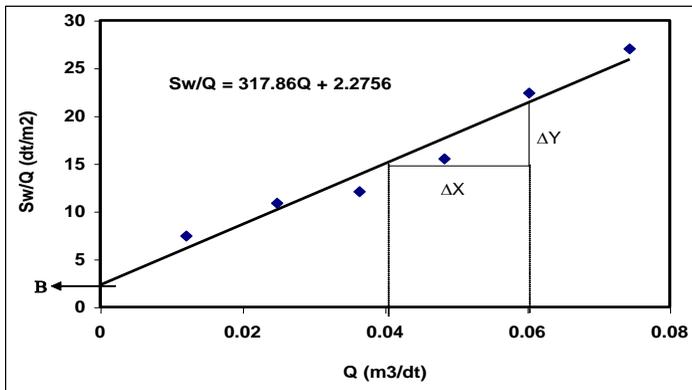
Pada sebuah sumur pompa akan dilakukan uji sumur sehingga dilakukan pemompaan secara menerus dengan debit tertentu. Metode yang digunakan adalah *Step Drawdown Test* dan besarnya debit pemompaan serta penurunan muka air yang terjadi disajikan pada Tabel. Tentukan kondisi dan klasifikasi sumur tersebut.

Tahap Uji	Q (l/dt)	Sw (m)
1	12.11	0.09
2	24.87	0.27
3	36.43	0.44
4	48.37	0.75
5	60.27	1.35
6	74.37	2.01

Jawab :

Tahap Uji	Q (l/dt)	Sw (m)	Sw/Q (dt/m ²)	Q (m ³ /dt)
1	12.11	0.09	7.43	0.012
2	24.87	0.27	10.86	0.025
3	36.43	0.44	12.08	0.036
4	48.37	0.75	15.51	0.048
5	60.27	1.35	22.40	0.060
6	74.37	2.01	27.03	0.074

Kurva sw/Q – Q :



Dari grafik hubungan antara Sw/Q dan Q diperoleh :

- Nilai B (perpotongan antara kurva dengan sumbu Y) adalah 2.276 dt/m² atau 0,03793 menit/m²
- Nilai C (kemiringan kurva) adalah 317,860 dt²/m⁶ atau 0,088 menit²/m⁵
- Nilai F (Faktor development) adalah :

$$= (C/B) \times 100\%$$

$$= 232,803 \text{ menit/m}^3$$

$$= 0,162 \text{ hari/m}^3$$
- Berdasarkan tabel nilai C dan Fd, maka sumur termasuk kategori baik dan secara umum memiliki produktivitas yang tinggi.

6.3. Debit Optimum

Untuk keperluan eksploitasi, maka perlu dihitung berapa besar debit optimum yang dapat dipompa dari sumur produksi. Metode yang dapat digunakan adalah **Metode Grafis Sichardt**.

Langkah-langkah dalam perhitungan debit optimum adalah :

1. Dari data hasil Step Drawdown Test, pada setiap Q diperoleh nilai sw yang konstan,
2. Plot titik-titik hubungan antara sw sebagai sumbu Y dan Q sebagai sumbu X pada skala normal.
3. Regresi titik-titik data tersebut dengan persamaan polinomial orde 2 (kuadrat).
4. Hitung nilai Q maksimum pada akuifer dengan rumus :

$$Q_{\max} = 2\pi \cdot r_w \cdot D \left(\frac{\sqrt{K}}{15} \right)$$

5. Plot nilai Q maks pada kurva, dan secara grafis tentukan nilai sw maks. (Tarik garis vertikal dari Q maks sampai memotong kurva, kemudian dari titik potong tsb, tarik garis horisontal sampai memotong sumbu Y, maka nilai sw maks diperoleh)
6. Plot nilai sw maks yang diperoleh pada kurva.
7. Hubungkan titik Q maks dan sw maks secara langsung sampai memotong kurva.
8. Dari titik potong dengan kurva ditarik garis vertikal sampai memotong sumbu X, maka nilai Q optimum diperoleh.

Contoh Soal - 2 :

Dari data pemompaan pada tabel berikut dan data karakteristik aquifer (Tebal akuifer 20,7 m, jari-jari sumur pompa 25 cm dan Konduktivitas hidraulis akuifer 0,00372 m/dt) maka hitung debit optimum yang dapat dieksploitasi dari sumur pompa tersebut.

Q (lt/dt)	Sw (m)
15.25	0.07
34.75	0.28
49.67	0.44
57.62	0.75
68.79	1.08
92.36	1.87
125.25	2.82
136.42	3.60

Penyelesaian :

1. Kurva hubungan antara Q dan sw dibuat pada skala normal
2. Melakukan regresi polinomial orde 2 sehingga diperoleh pers.
 $Y=0,000164X^2+0,003409X$ (X = Q dan Y = sw)

3. Hitung Q maks :

$$\begin{aligned}
 Q_{\max} &= 2\pi \cdot r_w D \left(\frac{\sqrt{K}}{15} \right) \\
 &= 2\pi \times 0,25 \times 20,7 \left(\frac{\sqrt{0,00372}}{15} \right) = 0,132 \\
 &= 132 \text{ liter /detik}
 \end{aligned}$$

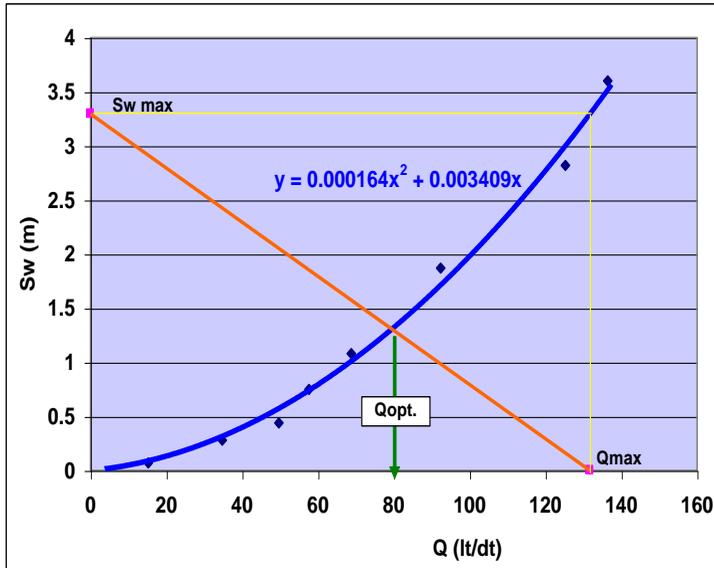
4. Dari pers regresi diperoleh :

$$\text{sw maks} = 0,000164 (132)^2 + 0,003409 (132) = 3,31 \text{ m}$$

5. Nilai sw maks dihubungkan dengan Q maks maka dari grafik diperoleh Q optimum = **80 lt/dt**

Secara grafis penyelesaiannya dapat dilihat pada kurva berikut :

Grafik Ploting data Q dan Sw



6.4. Pompa Airtanah

Pada perencanaan sistim pompa, kerja didefinisikan sebagai gaya kali jarak. Tenaga didefinisikan sebagai kerja persatuan waktu atau besarnya untuk melakukan kerja. Kerja dibutuhkan untuk mengangkat air dari sumur dan jumlah air yang diberikan dalam satuan waktu dapat dinyatakan dalam satuan tenaga kuda (horse power) dengan rumus sebagai berikut :

$$HP = \frac{Q \cdot h}{76} \tag{2.6}$$

Dengan :

- HP = Horse Power
- Q = Debit (m³/jam)
- h = Kenaikan vertical (m)

Efisien suatu motor adalah energi keluaran dari motor dibagi dengan masukan energi ke dalam motor. Tenaga kuda rem (*Brake Horse Power*) adalah masukan tenaga ke dalam pompa dan tenaga kuda air (*Water Horse Power*) adalah keluaran tenaga, sehingga efisiensi untuk sebuah pompa adalah :

$$EF = \frac{\text{Keluar}}{\text{Masuk}} \quad (2.7)$$

Dengan menggabungkan persamaan 2.6 dan 2.7 keluaran dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$WHP = BHP \times \text{Efisiensi} = \frac{Q \cdot h \cdot \text{Eff}}{76}$$

Perhatian yang khusus harus dilakukan untuk mempertahankan efisiensi pompa dan motor penggerak melalui pemeliharaan yang tepat dan penyetulan pada waktunya. Efisiensi keseluruhan suatu motor penggerak dan pompa air yang baru kurang lebih sebesar 65%. Motor penggerak paling tidak harus 95% efisiensi dan pompa sebesar 75% efisiensi. Sedangkan motor penggerak pompa yang direkomendasikan harus bekerja pada efisiensi 60% atau lebih. Apabila efisiensinya menurun sampai 40% dari pengujian lapangan yang dilakukan, maka mesin – mesin tersebut harus diperbaiki atau distel. Umur pompa pada umumnya 10 tahun sampai 15 tahun.

Penggerak pompa harus mampu membersihkan tenaga yang dibutuhkan dalam berbagai keadaan. Perbedaan keadaan pemakai pompa yang harus ditanggulangi oleh tenaga penggerak akan mempengaruhi pemilihan. Hal-hal yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan tenaga penggerak (instalasi daya) pompa adalah :

1. Tenaga kuda rem yang diperlukan
2. Ketersediaan bahan bakar atau biaya energi
3. Ketersediaan suku cadang
4. Pemilihan dan ketepatan pemakaian
5. Ketersediaan dan kualitas tenaga kerja

Bila memakai penggerak motor listrik, kebutuhan untuk membangun jalur tenaga ke lokasi dan biaya transformator pada lokasi pemompaan adalah merupakan kerugian. Karena memang pada lokasi pemompaan belum ada jalur tenaga listrik, maka penggerak dengan motor listrik tidak efisien.

Supaya layak secara ekonomi, karena tenaga penggerak permusim akan lebih banyak jam kerjanya, maka dipilih motor diesel dari pada motor bensin atau motor listrik. Sebab motor bensin atau motor listrik tiga fase, praktis untuk tenaga kuda 7,5 dan 25 HP, di atas 25 HP pada umumnya motor disel lebih praktis. Untuk penggunaan pompa yang paling menguntungkan untuk mendapatkan air irigasi, diperlukan pemilihan pompa yang sesuai betul dengan kondisi kerjanya dan untuk

air yang dipompa jauh lebih kecil dari jumlah untuk pompa yang direncanakan dan tingginya (*head*) berlebihan, hal ini akan menghasilkan efisiensi yang rendah. Hal yang sama, suatu pompa dapat memberikan air yang lebih banyak dari pada yang direncanakan untuk memberikan air pada ketinggian yang lebih rendah dari pada normal hal ini akan menyebabkan efisiensi yang rendah.

Pompa yang dapat dipakai untuk meningkatkan air dari dalam sumur sangat tergantung dari kemampuan pompa untuk menghisap air. Dapat dikatakan juga bahwa semua jenis pompa mempunyai pembatasan-pembatasan tertentu dalam operasinya. Dalam hal ini yang dimaksud adalah ketinggian pompa terhadap titik pengambilan (muka air) adalah terbatas. Secara teoritis ketinggian hisap maksimum yang dapat dicapai suatu pompa sebesar 33,9 feet atau 10,33 meter dalam keadaan hampa sempurna (tidak memperhatikan kebocoran-kebocoran). Dan berada pada ketinggian 0 meter diatas permukaan laut pada temperatur 60°F (sama dengan 15,56°C) pada tekanan atmosfer 14,7 psi atau 1 atm. Akan tetapi walau bagaimana sempurnanya pompa dalam kondisi standart tidak akan menghasilkan suatu keadaan hampa sempurna. Secara praktis pompa hanya dapat menghisap air pada kedalaman maksimal 25 feet atau 7,625 meter. Hal ini belum diperhitungkan bahwa air yang mengalir melalui pipa bergesekan dengan dinding pipa. Tekanan untuk melawan gesekan (Friction) ini di rubah menjadi energi potensial yang disebut head.

Telah diketahui bahwa pompa dapat dapat bekerja efektif pada keadaan-keadaan tertentu. Tetapi tidak terlalu demikian, sebagai contoh bila temperatur diatas 60°F maka pompa tidak dapat menghasilkan vacuum yang efektif untuk pemompaan. Efektifitas berkurang cepat pada keadaan temperatur yang meningkat sampai 120 atau 49°C. Hal ini diakibatkan oleh kerapatan udara yang lebih ringan dan tipis serta temperatur yang lebih tinggi. Pada temperatur 120°F pompa hanya dapat menaikkan air sebesar 10 feet atau 3,05 meter pada ketinggian 0 meter dari muka laut. Pengaruh naiknya ketinggian juga dapat untuk menopang kolom air pada pipa. Pada gambar 3.5 dijelaskan pengaruh temperatur dan ketinggian tempat terhadap tinggi penghisapan pompa air.

BAB 7

Instalasi SUMUR

AIRTANAH

7.1. Umum

Setelah dilakukan uji pemompaan sumur airtanah untuk mengetahui produksi airtanah, selanjutnya dapat dilakukan perencanaan instalasi sumur bor yang meliputi penentuan jenis pompa, perpipaan dan accessoriesnya serta bangunan sipil lainnya. Hasil dari perencanaan ini selanjutnya disajikan dalam bentuk gambar dan rencana anggaran biaya guna keperluan pelaksanaan pekerjaan.

7.2. Tahapan Kegiatan

Dalam kegiatan pemasangan instalasi sumur bor terdiri dari beberapa tahapan kegiatan yaitu mulai dari persiapan, pekerjaan pengeboran, pekerjaan pengadaan dan pemasangan perpipaan serta pekerjaan pemasangan accessories perpipaan. Adapun rincian tahapan kegiatan diuraikan sebagai berikut :

1. Pekerjaan persiapan meliputi pendugaan geolistrik, pengurusan ijin pengambilan airtanah (SIPA), mobilisasi dan demobilisasi alat pengeboran.
2. Pekerjaan pengeboran meliputi pengeboran dengan segala formasi, pengambilan sampel tanah dan analisa litologi, uji pemompaan airtanah, pemasangan pipa dan pompa, analisa kualitas air.
3. Pekerjaan pengadaan dan pemasangan pipa meliputi pengadaan pipa, gravel pack dan semen termasuk pekerjaan accessories.

7.3. Pekerjaan Persiapan

Pekerjaan persiapan dilakukan untuk memperlancar kegiatan pengeboran agar berjalan lancar dan cepat. Dalam pekerjaan persiapan perlu dilakukan ijin administrasi pada instansi terkait serta melakukan

koordinasi dalam sewa alat pengeboran. Rincian kebutuhan pada pekerjaan persiapan disajikan pada tabel 7.1.

Tabel 7.1. Uraian kegiatan pekerjaan persiapan

NO	JENIS PEKERJAAN
1	Pengurusan Surat Ijin Pengeboran
2	Mobilisasi Alat pada awal pelaksanaan pekerjaan
3	Demobilisasi Alat pada akhir pelaksanaan pekerjaan
4	Persiapan di lokasi sebelum pengeboran

7.4. Pekerjaan Pengeboran

Pekerjaan pengeboran terdiri dari kegiatan pengeboran dengan segala formasi, pengambilan sampel tanah dan analisa litologi, uji pemompaan airtanah, pemasangan pipa dan pompa, analisa kualitas air. Rincian kebutuhan pada pekerjaan persiapan disajikan pada tabel 7.2.

Tabel 7.2. Uraian kegiatan pekerjaan pengeboran

NO	JENIS PEKERJAAN
1	Pengeboran pada segala Formasi
2	Pembersihan lubang bor untuk mengatasi gangguan pemboran sebelum logging dan sebelum pemas. Pipa
3	Pemasangan Pipa Sementara dia.
4	Logging geofisika
5	Pengambilan contoh cutting dan pemeriksaan Litologi termasuk penyiapan tempatnya
6	Analisa besar butir "sampel pasir"
7	Pemasangan Pipa Sumur, Centralizer dan Reducer
	a. Pemasangan jambang/pipa (PVC)
	b. Pemasangan jambang/pipa buta naik (PVC)
	c. Pemasangan pipa screen (PVC)
8	Development Sumur
9	Pengujian ketegak lurus jambang

NO	JENIS PEKERJAAN
10	Pemasangan pompa dan mesin untuk pemompaan uji termasuk pembongkarannya.
11	Pemompaan uji, meliputi : a. Pemompaan uji bertingkat, uji debit tetap b. Uji pemulihan (recovery)
12	Pengambilan contoh air dan analisa kuantitas termasuk penyiapan tempatnya

7.5. Pekerjaan Pemasangan Pipa

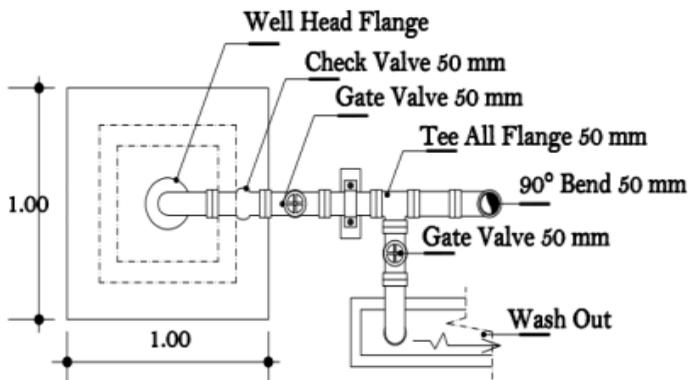
Pada pekerjaan pemasangan pipa meliputi pekerjaan pengadaan dan pemasangan pipa meliputi pengadaan pipa, gravel pack dan semen serta pekerjaan accesories pipa meliputi Tee GI, Bend TI, Air Valve dan Gate Valve, Check Valve, Kran dan Soal Tape. Rincian kebutuhan pada pekerjaan persiapan disajikan pada tabel 7.3.

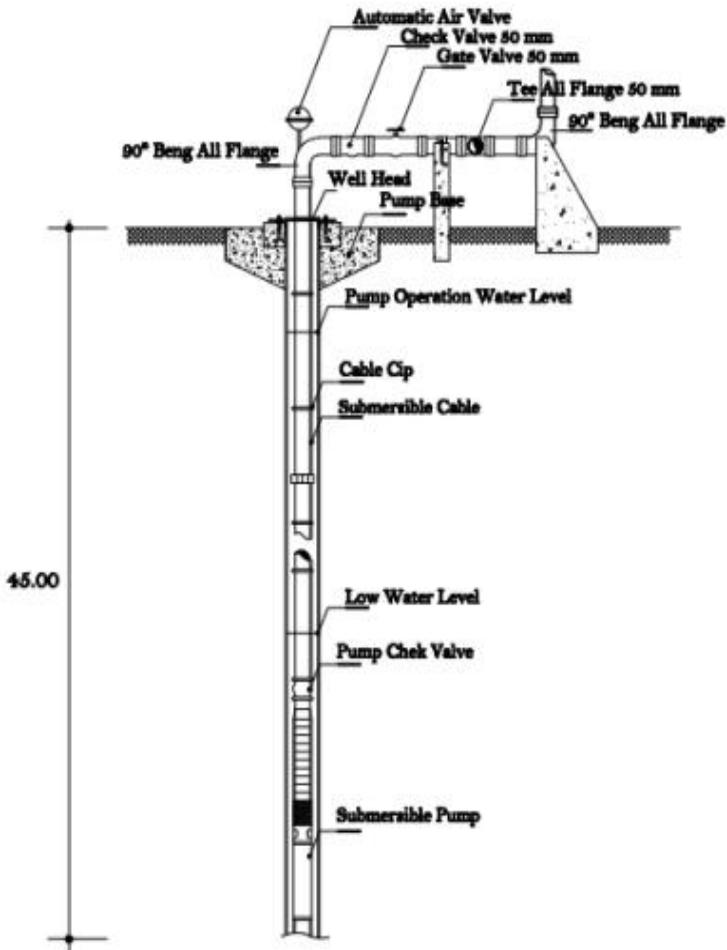
Tabel 7.3. Uraian kegiatan pekerjaan pemasangan pipa

NO	JENIS PEKERJAAN
1	Pengadaan material sumur tambahan a. Pipa jambang/Pipa (PVC) b. Pipa screen (PVC) c. Lem PVC + baut d. Pipa (PVC) e. Pipa buta naik (PVC)
2	Pengadaan material Sirkulasi - Bentonite / lumpur pemboran
3	Pengisian semen mortar
4	Pengadaan dan pemasangan "gravel pack" terayak dengan diameter tertentu
5	Pengadaan dan pemasangan tutup sumur termasuk Kunci
6	Pengadaan dan pemasangan bottom plug

NO	JENIS PEKERJAAN
7	Pekerjaan Accesories
	Pasang Pipa GI
	Pasang Bend GI
	Pasang Tee GI
	Pasang Air Valve
	Gate Valve
	Pasang Tutup Box valve
	Pasang Bata Box valve
	Pasang Plug Kran
	Sock Drat Luar PVC konstru
	Check Valve
	Seal Tape

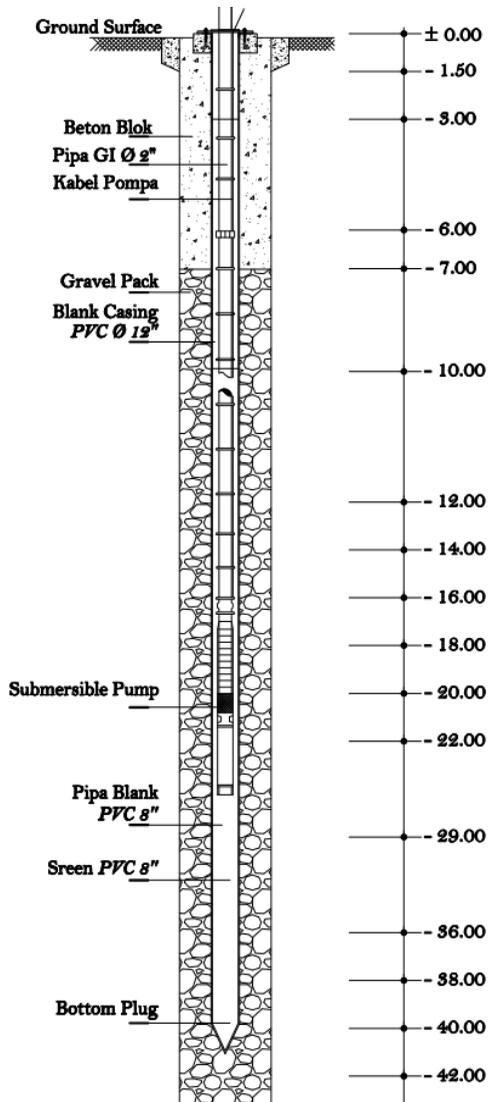
Contoh rencana konstruksi sumur bor dengan kedalaman lapisan aquifer 30 s/d 40 m serta rekapitulasi kebutuhan bahan dalam pembuatan sumur bor.





Gambar 7.1. Tampak atas dan potongan melintang sumur bor

Setelah direncanakan konstruksi sumur bor kemudian difinalisasi dalam bentuk gambar, selanjutnya dapat dihitung kebutuhan bahan dalam pembuatan instalasi sumur bor. Kebutuhan bahan dibagi dalam kebutuhan bahan untuk pekerjaan pendahuluan, pekerjaan pengeboran dan pekerjaan pemasangan pipa dan lainnya. Hasil perhitungan kebutuhan bahan disajikan pada tabel 7.4.



Gambar 7.2. Detail konstruksi instalasi sumur bor

Tabel 7.4. Perhitungan kebutuhan bahan perencanaan instalasi airtanah

NO	JENIS PEKERJAAN	VOLUME	SAT
1	2	3	4
A.	BANGUNAN INTAKE / SUMUR BOR		
I	PEKERJAAN PENDAHULUAN		
1	Pengurusan Surat Ijin Pengeboran	1.00	Lubang
2	Mobilisasi Alat pada awal pelaksanaan pekerjaan	1.00	Ls
3	Demobilisasi Alat pada akhir pelaksanaan pekerjaan	1.00	Ls
4	Persiapan di lokasi sebelum pengeboran	1.00	Ls
II	PEKERJAAN PENGEBORAN		
1	Pengeboran pada segala Formasi		
a.	Diameter	45.00	m'
b.	Diameter 8"	41.00	m'
2	Pembersihan lubang bor untuk mengatasi gangguan pemboran sebelum logging dan sebelum pemas. Pipa	1.00	Ls
3	Pemasangan Pipa Sementara dia.	45.00	m
4	Logging geofisika	1.00	Lokasi
5	Pengambilan contoh cutting dan pemeriksaan Litologi termasuk penyiapan tempatnya	45.00	bh
6	Analisa besar bulir "sampel pasir"	3.00	bh
7	Pemasangan Pipa Sumur, Centralizer dan Reducer		
a.	Pemasangan jambang/pipa (PVC)	31.00	m'
b.	Pemasangan jambang/pipa buta naik (PVC)	2.00	m'
c.	Pemasangan pipa screen (PVC)	8.00	m'
8	Development Sumur	24.00	jam
9	Pengujian ketegak lurusan jambang	1.00	Ls
10	Pemasangan pompa dan mesin untuk pemompaan uji termasuk pembongkarannya.	1.00	Ls
11	Penompaan uji, meliputi :		
a.	Penompaan uji bertingkat, uji debit tetap	30.00	Jam
b.	Uji pemulihan (recovery)	8.00	Jam
12	Pengambilan contoh air dan analisa kuantitas termasuk penyiapan tempatnya	1.00	Ls
13	Pembuatan Laporan akhir	1.00	Ls
II	PEKERJAAN PASANGAN		
1	Pas. Aanstamping		m3
1	Pas. Batu Kali 1:4	5.61	m3
2	Beton Bertulang 1:2:3	1.92	m3
3	Plesteran 1:3	16.00	m2
4	Pas. Batu Kosong	4.00	m3
5	Pas. Ijuk	10.00	Kg
6	Plastik	16.50	m2

NO	JENIS PEKERJAAN	VOLUME	SAT
1	2	3	4
III	PEKERJAAN PENGADAAN BAHAN DAN PEMASANGANNYA		
1	Pengadaan material sumur lambahan		
	a. Pipa jambang/Pipa (PVC)	31.00	m'
	b. Pipa screen (PVC)	8.00	m'
	c. Lem PVC + baut	8.00	kg
	d. Pipa (PVC)	31.00	m'
	e. Pipa buta naik (PVC)	8.00	m'
2	Pengadaan material Sirkulasi		
	- Bentonite / lumpur pemboran	300.00	kg
3	Pengisian semen mortar	0.90	m3
4	Pengadaan dan pemasangan "gravel pack" terayak dengan diameter tertentu	1.61	m3
5	Pengadaan dan pemasangan tutup sumur termasuk kunci	1.00	bh
6	Pengadaan dan pemasangan bottom plug	1.00	bh
4	Pengadaan Lem dan baut		Ls
4	Semen Mortar		Ls
7	Pekerjaan Accesories		
	Pasang Pipa GI	31.00	m'
	Pasang Bend GI	2.00	Bh
	Pasang Tee GI	1.00	Bh
	Pasang Air Valve	1.00	Bh
	Gate Valve	2.00	Bh
	Pasang Tutup Box valve	1.00	Bh
	Pasang Bata Box valve	1.00	Bh
	Pasang Plug Kran	1.00	Bh
	Sock Dral Luar PVC	5.00	Bh
	Check Valve	2.00	Bh
	Seal Tape	10.00	Bh

BAB 8

Teknik KONSERVASI

AIRTANAH

8.1. Umum

Airtanah berasal dari hujan yang jatuh ke permukaan bumi yang kemudian mengalami perkolasi atau penyerapan kedalam tanah dan mengalami filtrasi secara alamiah. Proses yang dialami air hujan tersebut didalam perjalanannya kebawah tanah, membuat air tanah menjadi lebih baik dan lebih murni dibandingkan air permukaan. Airtanah memiliki beberapa kelebihan dibandingkan sumber air lain. Pertama, airtanah biasanya bebas dari kuman penyakit dan tidak perlu mengalami proses purifikasi atau penjernihan. Persediaan airtanah juga cukup tersedia sepanjang tahun, saat musim kemarau sekalipun.

Airtanah juga mengandung zat-zat mineral yang cukup tinggi. Mengingat pentingnya peran air, sangat diperlukan adanya sumber air yang dapat menyediakan air yang baik dari segi kuantitas dan kualitas.

Konservasi air adalah upaya penggunaan air yang jatuh ke permukaan tanah se-efisien mungkin dan pengaturan waktu alirannya, sehingga tidak terjadi banjir dan terdapat cukup air pada musim kemarau. Oleh karena itu, tindakan konservasi tanah dapat berarti pula tindakan konservasi air. Pada dasarnya konservasi tanah dan air dilakukan dengan cara memperlakukan tanah agar mempunyai ketahanan terhadap gaya yang menghancurkan agregat dan pengangkutan oleh aliran permukaan, serta mempunyai kemampuan untuk menyerap air lebih besar, (Sukrianto, 1990). Menurut Arsyad (2010), metode konservasi tanah dan air dapat digolongkan kedalam tiga golongan utama, yaitu:

1) Metode vegetatif

Metode vegetatif adalah penggunaan tanaman dan tumbuhan atau bagian tumbuhan atau sisa-sisanya untuk mengurangi daya tumbuk butir hujan yang jatuh, mengurangi jumlah dan kecepatan

aliran permukaan yang pada akhirnya mengurangi erosi tanah. Dalam konservasi tanah dan air, metode vegetatif mempunyai fungsi : (a) melindungi tanah terhadap daya perusak butir-butir hujan yang jatuh, (b) melindungi tanah terhadap daya perusak air yang mengalir di permukaan tanah, (c) memperbaiki kapasitas infiltrasi tanah dan penahanan air yang langsung mempengaruhi besarnya aliran permukaan.

2) Metode mekanik

Metode mekanik adalah semua perlakuan fisik mekanis yang diberikan terhadap tanah dan perbuatan bangunan untuk mengurangi aliran permukaan dan erosi dan meningkatkan kemampuan penggunaan tanah. Termasuk dalam metode mekanik dalam konservasi tanah dan air adalah (1) pengolahan tanah (tillage), (2) pengolahan tanah menurut kontur (countour cultivation), (3) guludan dan guludan bersaluran menurut kontur, (4) parit pengelak, (5) teras, (6) dam penghambat (check dam), waduk, kolam atau balon (farmponds), rorak, tanggul, (7) perbaikan drainase dan (8) irigasi.

3) Metode kimia

Metode kimia dalam konservasi tanah dan air adalah penggunaan preparat kimia baik berupa bahan alami yang telah diolah dalam jumlah yang relatif sedikit untuk meningkatkan stabilitas agregat dan mencegah erosi.

8.2. Lubang Resapan Biopori (LRB)

Lubang resapan biopori (LRB) dikembangkan untuk memperbaiki kondisi ekosistem tanah yang dapat menghidupi keanekaragaman hayati di dalam tanah (biodiversitas tanah). Biodiversitas tanah dapat hidup dan berkembang biak di dalam tanah bila terdapat cukup air, oksigen dan makanan sebagai sumber energi dan nutrisi untuk hidup dan pertumbuhannya. Karena umumnya heterotroph maka makanannya adalah bahan organik yang dihasilkan oleh autotroph dan organisme tanah yang telah mati. Sampah organik merupakan sumber bahan organik untuk makanan biodiversitas tanah. Pembuatan lubang yang relatif kecil ke dalam tanah dapat memperluas permukaan vertikal yang dapat menampung sampah organik dan meresapkan air dalam lubang dengan lancar ke segala arah. Dimensi lubang yang kecil dapat memudahkan proses pembuatannya. Aktivitas biodiversitas tanah dapat mempercepat pelapukan sampah organik serta meningkatkan

pembentukan biopori yang dapat memperlancar peresapan air dan pertukaran O₂ dan CO₂ di dalam tanah (aerasi).

68

Peresapan air hujan yang efektif perlu dilakukan untuk mengurangi aliran permukaan serta untuk memelihara kelembaban tanah dan menambah cadangan air dalam tanah. Dengan demikian LRB merupakan teknologi tepat guna untuk mengatasi permasalahan makin sempitnya permukaan horizontal dengan menciptakan perluasan permukaan vertikal yang dapat meningkatkan laju peresapan air ke segala arah di dalam tanah melalui biopori yang terus dibentuk oleh aktivitas fauna tanah. Sampah organik yang dimasukkan ke dalam LRB terus dimanfaatkan oleh biodiversitas tanah sebagai makanan dalam jaringan makanan (*food webs*). Pemanfaatan sampah organik oleh setiap rumah tangga ke dalam LRB dapat mengurangi emisi gas rumah kaca, menyisakan sampah non-organik yang dapat disumbangkan kepada pemulung berarti dapat mengurangi timbunan sampah yang mengotori lingkungan dengan melibatkan seluruh anggota masyarakat pengguna lahan.

Lubang resapan biopori (LRB) dibuat dengan menggali lubang vertikal ke dalam tanah. ⁸⁷ Diameter lubang yang dianjurkan 10 cm sampai kedalaman 100 cm atau tidak melebihi kedalaman permukaan air tanah (*water table*). Pemilihan dimensi yang dianjurkan bertujuan untuk efisiensi penggunaan ruang horizontal yang makin terbatas dan mengurangi beban pengomposan. Tabel 1 menunjukkan bahwa LRB berdiameter 10 cm dengan kedalaman 100 cm hanya menggunakan permukaan horizontal 79 cm² menghasilkan permukaan vertikal seluas dinding lubang 0,314 m², berarti memperluas permukaan tanah 40 kali yang dapat kontak langsung dengan bahan kompos. Volume sampah yang masuk tertampung dalam lubang maksimum 7,9 liter dapat mudah dijangkau biodiversitas tanah melalui dinding lubang, akan menimbulkan beban pengomposan maksimum 25 liter/m². Perluasan permukaan tanah akan menurun dan beban pengomposan akan meningkat dengan peningkatan diameter lubang. Sebagai contoh bila diameter lubang 100 cm mendekati diameter sumur, perluasan permukaan yang diperoleh hanya 4 kali, dengan beban pengomposan yang meningkat menjadi 250 liter/m². Peningkatan beban pengomposan mengakibatkan penurunan laju pengomposan karena terlalu sedikitnya kontak langsung tanah sekeliling dinding lubang dengan bahan kompos. Hal ini mengakibatkan berkurangnya akses biodiversitas tanah untuk menjangkau bahan kompos, serta terhambatnya proses penyesuaian keseimbangan kelembaban dan suhu tanah dan bahan kompos.

LRB dapat membantu mempermudah pemasukan bahan organik ke dalam tanah meskipun pada permukaan yang tertutup lapisan kedap. Kumpulan sampah organik yang tidak terlalu banyak dalam lubang silindris akan menjadi habitat yang baik bagi fauna tanah terutama cacing tanah yang memerlukan perlindungan dari panas matahari dan kejaran pemangsanya. Di dalam LRB mereka memperoleh makanan, kelembaban dan oksigen yang cukup.

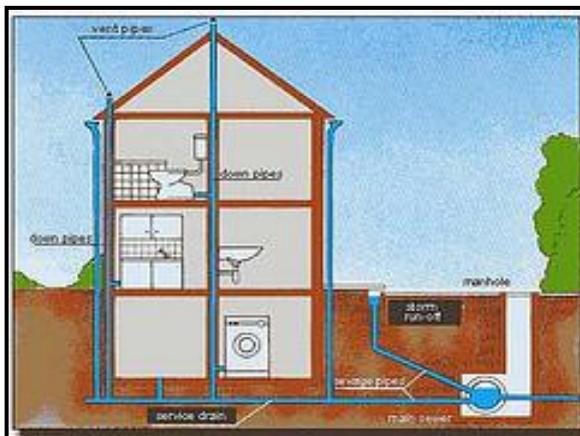
Tabel 8.1. Hubungan Diameter Lubang Dengan Beban Pengomposan dan Pertambahan Luas Permukaan Pengomposan

Diameter Lubang (cm)	Mulut lubang (cm ²)	Luas dinding (m ²)	Pertambahan Luas (kali)	Volume (liter)	Beban Pengomposan (liter/m ²)
10	79	0,314	40	7,857	25
40	1257	1,257	11	125,714	100
60	2829	1,886	7	282,857	150
80	5029	2,514	5	502,857	200
100	7857	3,143	4	785,714	250

8.3. Sumur Resapan

Proses pembangunan perkotaan dan perumahan sungguh merupakan hal yang kontradiksi jika ditinjau dari ketersediaan air tanah dan peningkatan puncak limpasan air permukaan. Perubahan ini disebabkan oleh terjadinya penurunan imbuan airtanah dan penambahan pengeluaran air dari dalam tanah, sehingga mengganggu keseimbangan sistem hidrologi air bawah permukaan dan menghasilkan penurunan kapasitas airtanah. Di negara yang telah maju, peningkatan kuantitas penduduk tidak mengganggu ketersediaan air tanah, hal ini disebabkan oleh bergantinya atau ditinggalkannya sumur-sumur individu dan ditukar atau berganti kepada sumur umum dalam yang disediakan oleh instansi tertentu seperti PDAM atau semacamnya yang merupakan bagian dari pemerintah lokal setempat. Hal ini bertolak belakang dengan kondisi yang terjadi di Indonesia, karena kecenderungan apabila jumlah penduduk makin bertambah, maka jumlah sumur-sumur yang dibuat oleh individu pun makin banyak.

Airtanah yang dikeluarkan dari dalam bumi pada dasarnya sama saja dengan pengeluaran bahan/material berharga yang lain seperti : mineral, emas, batu bara, minyak atau gas. Air biasanya mempunyai batasan yang istimewa, yaitu dianggap sebagai sumber alami yang dapat diperbaharui. Angapan ini perlu kiranya untuk dikoreksi, karena sebenarnya anggapan ini hanya dapat berlaku jika terdapat keseimbangan diantara imbuan air dengan eksploitasi didalam kawasan tangkapan/tadahan air. Sumur resapan airtanah adalah salah satu upaya untuk meningkatkan imbuan airtanah, disamping itu manfaat yang sangat berguna adalah dapat mengurangi banjir akibat limpasan air permukaan. Dengan pembiayaan yang (secara relatif) tidak terlalu tinggi, pengadaan sumur resapan ini dapat dilakukan oleh setiap pembangunan satu rumah tinggal.



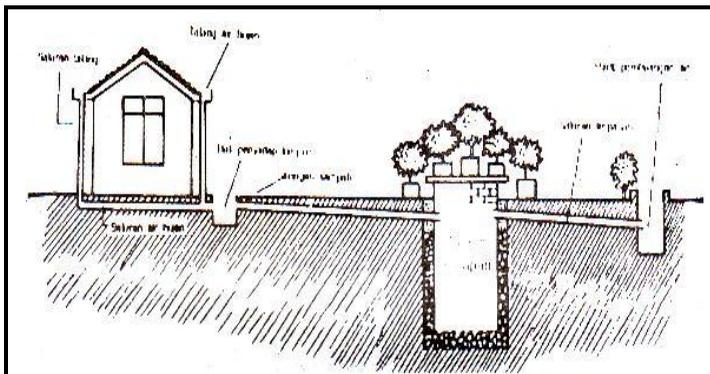
Gambar 8.1. Sistem drainase resapan air
 Sumber : ameliaday.wordpress.com/.../

3 Sumur resapan dibuat dengan tujuan untuk mengalirkan air buangan dari permukaan tanah ke akuifer airtanah. Alirannya berlawanan dengan sumur pompa, tetapi konstruksi dan cara pembangunannya mungkin dapat saja sama. Pengimbuhan sumur akan lebih praktis apabila terdapat akuifer tertekan yang dalam dan perlu untuk diimbukan, atau pada suatu kawasan kota yang memiliki lahan yang sempit/terbatas. Keberadaan sumberdaya air di alam menunjukkan dua hal yang menarik, yaitu : di permukaan tanah, volume banjir dapat mencapai atap rumah dan di bawah tanah, permukaan airtanah (water table) terus mengalami penurunan. Untuk meminimumkan dampak negatif yang mungkin terjadi akibat dari kedua hal di atas dan sekaligus dapat menjaga cadangan air, maka dapat dibuat sumur resapan air hujan.

Meskipun tidak seluruh masalah dapat diatasi, namun sumur resapan ini secara teoritis akan banyak membantu meringankan kedua masalah tersebut sekaligus.

56

Air hujan dari cucuran atap dialirkan ke bak penampung, kemudian ke sumur resapan. Kelebihannya masuk ke selokan atau riol kota. Pemukiman padat bisa mengatasi banjir dengan sistem ini dengan gotong royong dan patungan 5 rumah dengan 1 sumur resapan. Air hujan yang jatuh ke halaman setidaknya 85 persen harus bias diserap oleh halaman tersebut agar tidak meluapkan banjir. Halaman rumah secara alamiah bias menyerap curahan air hujan yang jatuh, termasuk dari atap rumah yang mengalir melalui talang. Di sini sumur resapan akan mengurangi sumbangan bencana banjir dengan mengurangi sumbangan run off air hujan.



Gambar 8.2. Konstruksi Sumur Resapan Pada Pekarangan

Sumber : anisavitri.wordpress.com/.../

Pada lapisan bawah tanah, resapan ini akan masuk merembes lapisan tanah yang disebut sebagai lapisan tidak jenuh dimana tanah (dari berbagai jenis) masih bisa menyerap air, kemudian masuk menembus permukaan tanah (water table) di mana dibawahnya terdapat airtanah (ground water) yang terperangkap di lapisan tanah yang jenuh. Airtanah inilah yang sebenarnya di konsumsi. Masuknya air hujan melalui peresapan inilah yang menjaga cadangan airtanah agar tetap bisa dicapai dengan mudah. Karena permukaan airtanah memang bisa berubah-ubah, tergantung dari suplai dan eksploitasinya. Dengan teralirkan ke dalam sumur resapan, air hujan yang jatuh di areal rumah tidak terbuang percuma ke selokan lalu mengalir ke sungai. Standar Nasional Indonesia (SNI) tentang Tata Cara Perencanaan Sumur

Resapan Air Hujan untuk Lahan Pekarangan, menetapkan beberapa persyaratan umum yang harus dipenuhi sebuah sumur resapan yaitu :

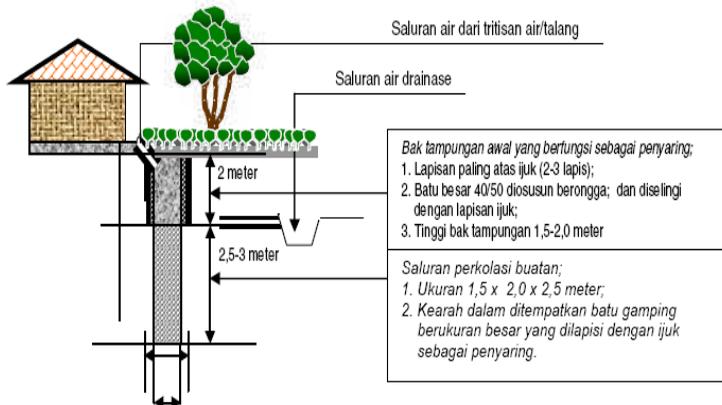
1. Sumur resapan harus berada pada lahan yang datar, tidak pada tanah berlereng, curam atau labil.
2. Sumur resapan harus dijauhkan dari tempat penimbunan sampah, jauh dari septic tank (minimum lima meter diukur dari tepi) dan berjarak minimum satu meter dari pondasi bangunan.
3. Penggalian sumur resapan bisa sampai tanah berpasir atau maksimal dua meter di bawah permukaan air tanah. Kedalaman muka air (water table) tanah minimum 1,50 meter pada musim hujan.
4. Struktur tanah harus mempunyai permeabilitas tanah (kemampuan tanah menyerap air) lebih besar atau sama dengan 2,0 cm per jam (artinya, genangan air setinggi 2 cm akan teresap habis dalam 1 jam), dengan tiga klasifikasi, yaitu :
 - Permeabilitas sedang, yaitu 2,0-3,6 cm per jam.
 - Permeabilitas tanah agak cepat (pasir halus), yaitu 3,6-36 cm per jam.
 - Permeabilitas tanah cepat (pasir kasar), yaitu lebih besar dari 36 cm per jam.

113

Manfaat yang dapat diperoleh dengan pembuatan sumur resapan air antara lain :

- 6
(1) mengurangi aliran permukaan dan mencegah terjadinya genangan air, sehingga memperkecil kemungkinan terjadinya banjir dan erosi.
- (2) mempertahankan tinggi muka air tanah dan menambah persediaan airtanah.
- (3) mengurangi atau menahan terjadinya intrusi air laut bagi daerah yang berdekatan dengan wilayah pantai.
- (4) mencegah penurunan atau amblasan lahan sebagai akibat pengambilan air tanah yang berlebihan.
- (5) mengurangi konsentrasi pencemaran airtanah.

Teknik pembuatan sumur resapan di Propinsi DKI Jakarta, didasarkan atas keputusan Gubernur DKI Jakarta No. 115 tahun 2001. Ilustrasi desain sumur resapan tersebut, disajikan pada gambar 8.3.



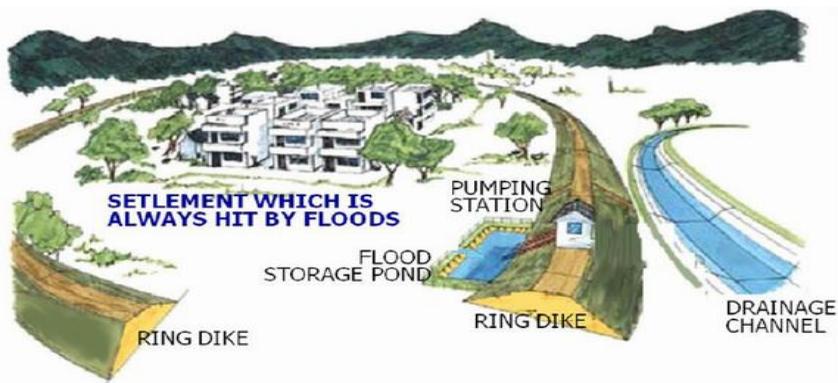
Gambar 8.3. Penyaluran air di talang pada Sumur Resapan

8.4. Polder

Polder adalah sebidang tanah yang rendah dan dikelilingi oleh embankment / timbunan atau tanggul yang membentuk semacam kesatuan hidrologis buatan, yang berarti tidak ada kontak dengan air dari daerah luar selain yang dialirkan melalui perangkat manual.

Contoh polder:

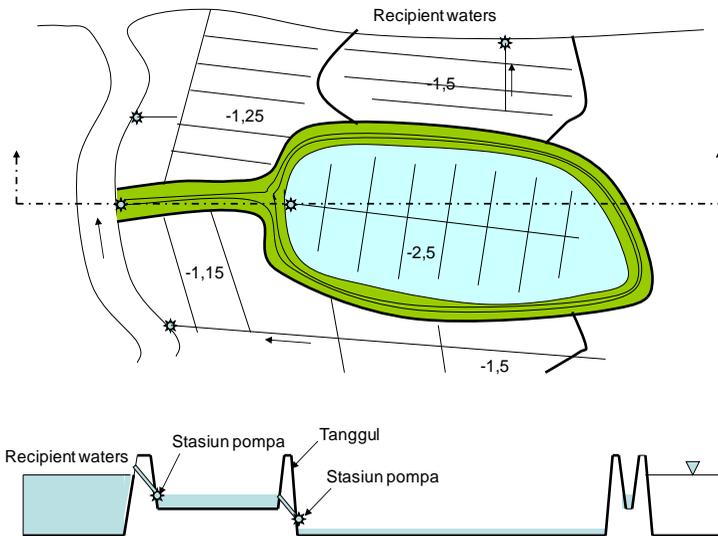
1. Tanah yang direklamasi dari badan air misalnya danau yang dikeringkan dan dijadikan kawasan tertentu.
2. Dataran banjir yang dipisahkan dari laut atau sungai menggunakan tanggul,
3. Rawa yang dikelilingi air yang kemudian dikeringkan.



Gambar 8.4. Layout polder pada areal pemukiman

2

Tanah dasar berupa rawa yang dikeringkan akan surut seiring berjalannya waktu, namun seluruh polder akan dengan cepat berada dibawah muka air di sekitarnya bila terjadi kenaikan muka air, misalnya ketika pasang atau banjir. Air di sekitar polder akan mulai meresap perlahan ke bawah tanggul dan keluar ke permukaan di dalam lingkungan polder melalui aliran air tanah untuk menyeimbangkan tekanan air, sehingga lama-lama polder akan tergenang. Ini berarti polder mengalami kelebihan air yang harus dipompa keluar atau dikeringkan dengan membuka pintu air pada saat muka air laut surut. Namun, pengaturan muka air dalam tanah tidak boleh terlalu rendah. Tanah polder yang terdiri dari peat / tanah turf (bekas rawa) akan memperlihatkan percepatan pemampatan akibat dekomposisi tanah turf pada saat kondisi kering.



Gambar 8.5. Sistem pengaliran polder

2

Polder senantiasa berada pada bahaya banjir dan tanggul yang mengelilinginya harus dijaga. Tanggul-tanggul tersebut biasanya dibangun dengan material yang tersedia di daerah tersebut. Tanggul dari pasir rawan runtuh akibat *oversaturation* (tanah terlampau jenuh air) sementara tanah *peat* kering malah lebih ringan daripada air sehingga berpotensi tidak stabil pada musim kering. Beberapa jenis binatang dapat menggali dan membuat terowongan dan sarang pada struktur tanggul. Polder seringkali ditemukan di [delta](#) sungai dan daerah tepi pantai, walaupun tidak selalu ada.

Tahapan dalam perencanaan polder yaitu melalui proses "SIDLACOM" yaitu :

- a. Survey
- b. Investigasi
- c. Desain
- d. Pembebasan Lahan
- e. Konstruksi
- f. Operasi dan Pemeliharaan

1. Survey .

- a. Gunakan peta topografi Skala 1: 10.000 S/D 1:25.000 untuk mengidentifikasi daerah aliran pada polder.
- b. Hitung luas masing –masing DAS
- c. Petakan rencana waduk Folder dengan pengukuran geodetik. Dibuat garis kontur ketinggian lahan dengan interfal setiap ketinggian 0.25 s/d 0.50 m

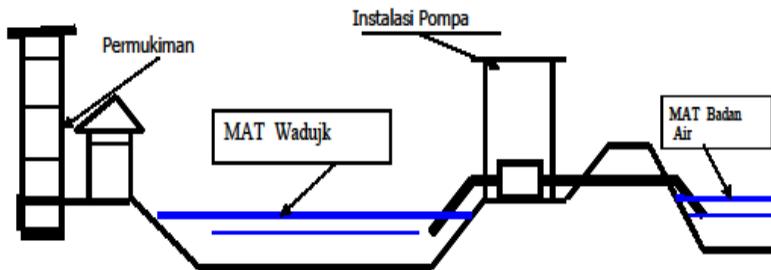
2. Investigasi

- a. Rencanakan dimana instalasi pompa akan ditempatkan beserta konstruksi inlet dan konstruksi bangunan yang terkait dengan instalasi pompa yaitu pada lokasi yang paling dekat dengan badan air.
- b. Lakukan investigasi Geologi terutama Soil Mekanik untuk Perencanaan pondasi Bangunan Air

3. Desain Hidrologi Dan Konstruksi

- a. Hitung luas masing-masing luas Daerah Aliran Saluran (DAS) tersebut diatas
- b. Hitung debit sesuai return period yang telah ditetapkan sebagai kriteria design..
- c. Buat Hidrograph debit rencana yang akan masuk ke waduk, dapat menggunakan program ULTRA untuk area yang tidak begitu luas
- d. Lakukan Reservoir Routing untuk mencari besaran kapasitas pompa yang paling efisien
- e. Buat rencana Konstruksi bangunan air serta instalasi pompa.

Sistem folder harus mempunyai Prasarana dan Sarana seperti : Lahan yang mempunyai ketinggian paling rendah dijadikan kolam, long storage untuk DAS yang kecil dan sedang atau waduk penampungan aliran dari DAS yang luas diatasnya.



Gambar 8.6. Skema konstruksi polder

Adapun yang perlu diperhatikan adalah perbedaan muka air tertinggi dalam waduk tidak melebihi tinggi muka tanah disekitarnya.

BAB 9

Neraca AIRTANAH

KAWASAN

9.1. Umum

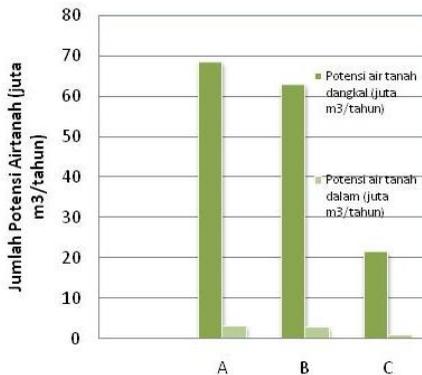
Neraca airtanah dapat dihitung dengan membandingkan ketersediaan airtanah atau potensi airtanah dengan jumlah total kebutuhan airtanah. Dalam perhitungan potensi airtanah dapat dilakukan dengan menggunakan data sekunder berupa peta geologi, peta hidrogeologi dan cekungan air, kemudian didukung dengan data sekunder hasil pendugaan metode geolistrik, logging serta pemantauan elevasi airtanah pada kawasan yang akan ditinjau. Adapun kebutuhan air tanah dihitung total kebutuhan untuk irigasi, industri serta kegiatan domestik lainnya.

9.2. Potensi Airtanah

Penentuan potensi airtanah pada sebuah kawasan dapat dilakukan dengan menggunakan ketersediaan data primer dan sekunder yang telah ada. Sebagai contoh dalam penentuan potensi airtanah di wilayah dengan memanfaatkan pada Cadangan Air Tanah (CAT) sebuah kawasan, dengan mempertimbangkan kondisi geologi, morfologi dan kondisi hidrogeologi setempat. Akuifer yang dikaji yaitu Kecamatan A, B dan C yang memiliki kelompok akuifer bebas dan akuifer terkekang Hasil pengkajian CAT di wilayah tersebut telah dilakukan dan diperoleh hasil berdasarkan uji geolistrik di 3 (tiga) yang menyebar diperoleh perkiraan CAT aquifer terkekang sebesar 1.477 liter/detik. Adapun kemampuan produksi rata-rata telah dihitung dalam penelitian ini sebesar 7,8 liter/detik dengan hasil selengkapnya disajikan dalam tabel 9.1. Namun apabila mengacu pada peta cadangan airtanah, untuk kawasan kawasan tersebut sebesar 1003 .m3/tahun. Maka untuk kawasan Kecamatan A, B dan C masing-masing disajikan pada tabel 9.2. Jika dibandingkan ketersediaan airtanah dari pada CAT dan Imbuan ada perbedaan, dari peta CAT jumlah ketersediaan air lebih besar. Maka dalam uraian ini diasumsikan yang terkecil yaitu ketersediaannya adalah 10 liter/detik. Maka untuk luasan baku sawah yang ada maka total cadangannya ada sekitar 10 liter/detik.

Tabel 9.2. Contoh Potensi CAT Pada Sebuah Kawasan

No	Nama Kecamatan	Luas Wilayah (Km ²)	Koefisien Luasan CAT (Km ²)	Potensi air tanah dangkal (juta m ³ /tahun)	Potensi air tanah dalam (juta m ³ /tahun)
1	A	148.990	0.0261	68.443	3.416
2	B	137.180	0.0240	63.018	3.145
3	C	47.120	0.0082	21.646	1.080
	Jumlah	333.290	0.058	153.106	7.641
	Rata-rata	111.097	0.019	51.035	2.547



Ketersediaan air yang cukup banyak diperoleh dari air permukaan, yaitu aliran dari sungai yang disuplai ke sebuah bendung menuju daerah irigasi di Kawasan A, B dan C. Dalam menghitung ketersediaan air permukaan dilakukan dari pencatatan debit pada alat Automatic Water Level Record (AWLR) minimal 5 tahun pencatatan. Kemudian data tersebut di rata-rata setiap bulannya, hasilnya disajikan pada tabel 9.3.

Dari tabel 9.3 terlihat ketersediaan maksimum pada Bulan Desember sedangkan terendah pada Bulan Mei. Fluktuasi cenderung tinggi mulai Bulan Desember sampai April dan trend menurun dari Bulan Mei sampai Nopember. Jumlah outflow diperhitungkan dari faktor pemanfaatan air untuk irigasi dan industri Sebagian besar irigasi menggunakan air permukaan sedangkan industri menggunakan air tanah. Maka dilakukan perhitungan kebutuhan air irigasi mengacu pada pola tata tanam di lokasi kajian. Dari hasil perhitungan kebutuhan air kemudian dihitung besarnya kebutuhan total untuk 3 kawasan yang mengacu pada luas baku sawah yang membutuhkan air irigasi. Untuk Kecamatan A sebesar 2.065 ha, Kecamatan B sebesar 1.000 ha dan Kecamatan C sebesar 6.278 ha.

Tabel 9.3. Pencatatan Debit pada Stasiun AWLR

No	Bulan	Debit aliran (m ³ /detik)					
		2013	2014	2015	2016	2017	rata-rata
1	104 Januari	106.08	87.97	62.92	31.58	95.29	76.77
2	Februari	80.32	68.28	66.43	80.02	66.15	72.24
3	Maret	65.85	43.31	103.38	54.28	72.05	67.77
4	April	60.81	56.61	55.97	38.71	74.53	57.33
5	Mei	37.20	24.25	23.49	33.04	29.10	29.42
6	Juni	48.85	16.75	16.29	34.03	32.06	29.60
7	Juli	17.08	13.99	10.93	27.13	16.41	17.11
8	Agustus	12.03	10.77	11.92	16.07	4.81	11.12
9	September	11.23	7.82	9.41	25.60	3.71	11.55
10	Oktober	11.16	7.89	12.64	46.83	25.57	20.82
11	November	30.98	18.58	14.77	69.98	72.16	41.29
12	Desember	81.03	109.12	22.95	82.61	104.85	80.11

9.3. Kebutuhan Air Irigasi

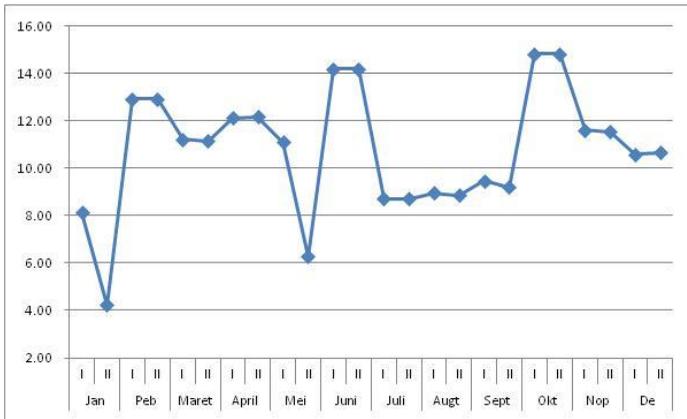
Kebutuhan air irigasi paling banyak terdapat di Kecamatan A dan B. Beberapa parameter yang dibutuhkan untuk keperluan tersebut diantaranya data tanah, kecerahan matahari, kecepatan angin, kelembapan udara dan sebagainya. Hasil perhitungan nilai evaporasi disajikan pada tabel 9.4, sedangkan hasil perhitungan kebutuhan air irigasi disajikan pada tabel 9.5.

Tabel 9.4. Perhitungan evaporasi di lokasi studi

No	URAIAN	Not	Satuan	Keterangan	BULAN											
					JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES
1	Temperatur Rata-rata	t	°C	Data	26.3	31.1	31.7	31.5	31.3	31.1	25.4	25.4	26.2	26.4	27.6	26.7
2	Tekanan Uap Air	-	mm bar	Tabel	34.1	44.0	45.2	44.8	44.4	44.0	32.5	30.6	34.1	32.5	36.8	34.9
3	Kelembaban relatif	RH	%	Data	84.0	86.2	87.0	87.6	84.6	82.1	86.0	86.8	91.0	86.6	86.2	90.8
4	Tekanan Uap Sebenarnya	Ea	mm bar	Ea (RH/100)	28.7	37.9	39.3	39.3	37.6	36.1	27.9	26.6	31.0	28.2	31.7	31.7
5	(Ea-Ed)	-	mm bar	Hitung	5.5	6.1	5.9	5.5	6.8	7.9	4.6	4.0	3.1	4.4	5.1	3.2
6	Kecepatan Angin	U2	Km/hari	Data	58.5	76.7	56.0	43.2	49.7	50.9	63.7	64.7	73.8	0.0	32.6	25.5
7	Kecepatan Angin	Uday	m/det	Hitung	0.7	0.9	0.6	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.9	0.0	0.4	0.3
8	Fungsi Kecepatan Angin	-	Km/hari	Hitung	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.3	0.4	0.3
9	Interpolasi	-	-	Tabel	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8
10	(1-w)	-	mm/hari	Hitung	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
11	Radiasi	Ra	mm/hari	Tabel	16.1	16.1	15.5	14.4	13.1	12.4	12.7	13.7	14.9	15.8	16.0	16.0
12	Penyinaran Matahari	n/N	%	Data	0.0	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.3	0.3
13	(0.25+0.54n/N)	-	-	Hitung	0.3	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4
14	Rs = Ra (0.25+0.54n/N)	Rs	mm/hari	Hitung	4.0	7.4	7.8	7.9	7.6	7.0	7.5	7.8	8.2	8.2	6.6	6.6
15	Fungsi Suhu	-	-	Tabel	15.9	17.0	17.1	17.1	17.0	17.0	15.7	15.7	15.9	16.0	16.2	16.0
16	Fungsi Tekanan Uap	f(n/N)	-	Hitung	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
17	Fungsi Penyinaran	f(n/N)	-	Hitung	0.1	0.5	0.5	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4
18	= f(t) f(d) f(n/N)	-	-	Hitung	0.2	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	1.1	1.1	0.9	0.9	0.5	0.6
19	=	=	=	Tabel	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2
20	ETo* = W.(0.7Rs - Rn1) + (1-w) f(t) (Ea-Ed)	-	mm/hari	Hitung	2.7	4.6	4.8	4.7	4.5	4.2	3.9	4.0	4.3	4.2	3.8	3.6
21	ETo = C*ETo*	-	mm/hari	Hitung	3.0	5.1	4.8	4.7	4.3	4.0	3.9	4.0	4.8	4.7	4.4	4.2
22	Jumlah Hari	Hari	Hitung	Hari	31.0	28.0	31.0	30.0	31.0	30.0	31.0	31.0	30.0	31.0	30.0	31.0
23	Evaporasi	mm/bulan	Hitung	Hitung	93.0	142.5	147.7	140.1	133.2	119.8	120.4	123.5	142.5	144.5	130.7	129.5

Tabel 9.5. Perhitungan kebutuhan air irigasi

Keterangan	SAT.	Oktober			November			Desember			Januari			Februari			Maret			April			Mei			Juni			Juli			Agustus			September			Oktober								
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III									
Pola Tanam		PADI																		PALAWA																										
Koefisien Tanaman :																																														
C1	LP	150	127	133	130	130	0,00	LP	150	127	133	130	130	0,00	LP	110	110	105	105	0,96	0,00	LP	LP	110	110	105	105	0,96	0,00	LP	LP	110	110	105	105	0,96	0,00	LP	LP	110	110	105	105	0,96	0,00	LP
C (maksud)	LP	130	129	130	132	130	0,65	LP	130	129	130	132	130	0,65	LP	110	110	106	105	0,95	0,00	LP	LP	110	110	106	105	0,95	0,00	LP	LP	110	110	106	105	0,95	0,00	LP	LP	110	110	106	105	0,95	0,00	LP
Evapotranspirasi (E _o)	mm/h	4,66	4,66	4,36	4,36	4,46	4,46	4,46	4,76	4,76	4,67	4,67	4,30	4,30	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	4,75	4,75	4,66	4,66								
Parkulasi (P)	mm/h	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00								
Penggunaan Kosumtif (ET _c) = k x E _o	mm/h	LP	LP	5,66	5,66	5,43	5,43	3,90	1,95	LP	LP	LP	6,9	6,9	6,97	6,9	5,59	2,79	LP	LP	LP	4,27	4,27	4,28	4,28	4,75	4,51	LP	LP	LP	4,75	4,51	LP	LP												
Penggantian Lapisan Air	mm/h																																													
WLR1																																														
WLR2																																														
WLR (maksud)																																														
Total Kebutuhan Air	mm/h	0,70	0,70	0,53	0,52	0,10	0,16	0,57	5,58	1,06	1,06	0,79	0,79	0,34	0,34	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,70	0,70	0,70	0,70									
Hasil Efektif	mm/h	0,00	0,00	0,60	0,60	1,31	1,31	2,04	2,04	2,1	2,1	1,68	1,68	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,00	0,00	0,00	0,00									
Kebutuhan Air Bersih	mm/h	0,70	0,70	0,73	0,66	0,78	0,85	7,52	3,91	1,06	1,06	0,37	0,30	0,14	0,26	0,52	0,79	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,70	0,70	0,70	0,70									
Kebutuhan Air Irigasi	l/d/ha	159	159	154	123	119	114	107	0,46	138	138	120	119	130	130	119	107	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152	159	159	159	159									
Luas Area Pengaliran	Ha	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343									
Kebutuhan Air Irigasi	l/d	14,82	14,82	11,60	11,51	10,58	10,65	8,14	4,22	12,92	12,92	11,22	11,14	12,10	12,18	11,08	8,26	14,19	14,19	14,19	14,19	14,19	14,19	14,19	14,19	14,19	14,19	14,19	14,19	14,19	14,19	14,19	14,19	14,82	14,82	14,82	14,82									
Kebutuhan Air Irigasi	m ³ /dt	14,82	14,82	11,60	11,51	10,58	10,65	8,14	4,22	12,92	12,92	11,22	11,14	12,10	12,18	11,08	8,26	14,19	14,19	14,19	14,19	14,19	14,19	14,19	14,19	14,19	14,19	14,19	14,19	14,19	14,19	14,19	14,19	14,82	14,82	14,82	14,82									



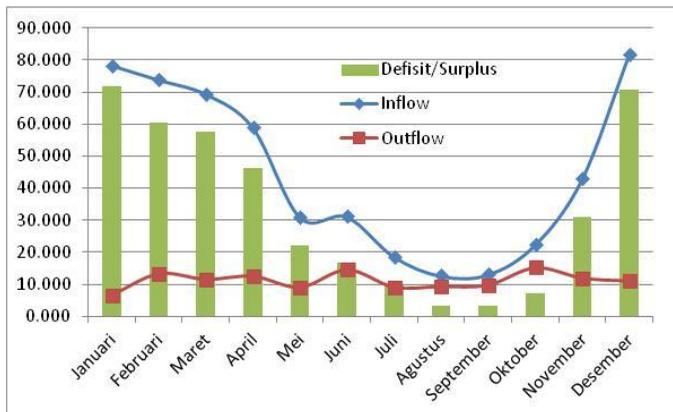
Tabel 9.6. Hasil perhitungan kebutuhan air irigasi

No	Nama Kecamatan	Luas Wilayah (Km ²)	Luas Irigasi Airtanah (ha)	Kebutuhan Air Irigasi (lt/dt/ha)	Kebutuhan Air Irigasi (m ³ /dt)
1	A	148.990	20.00	1.59	31.80
2	B	137.180	20.00	1.59	31.80
3	C	47.120	60.00	1.59	95.40
Jumlah		333.290	100.00	4.77	159.00
Rata-rata		111.097	33.33	1.59	53.00

Dari tabel 9.6 terlihat bahwa setiap tahun kecenderungan pengambilan airtanah semakin meningkat tajam. Hal ini disebabkan oleh peningkatan kebutuhan untuk irigasi dan kegiatan industri. Adapun total pengambilan airtanah sebesar $0.159 \text{ m}^3/\text{det}$. Adapun dari hasil perhitungan outflow dan inflow terlihat bahwa kebutuhan terbesar terdapat pada tabel 9.7 dan gambar 9.4.

Tabel 9.7. Neraca air di lokasi penelitian

No	Bulan	Inflow			Outflow			Surfus (+)
		Debit AWLR 82 m^3/det	Potensi Air Tanah m^3/det	Jumlah m^3/det	Air Irigasi m^3/det	Pemakaian Air Tanah m^3/det	Jumlah m^3/det	Defisit(-) m^3/det
1	Januari	76.766	1.477	78.243	6.180	0.300	6.480	71.763
2	Februari	72.239	1.477	73.716	12.922	0.300	13.222	60.494
3	Maret	67.771	1.477	69.248	11.178	0.300	11.478	57.770
4	April	57.327	1.477	58.804	12.139	0.300	12.439	46.364
5	Mei	29.417	1.477	30.894	8.671	0.300	8.971	21.923
6	Juni	29.597	1.477	31.074	14.187	0.300	14.487	16.587
7	Juli	17.106	1.477	18.583	8.710	0.300	9.010	9.573
8	Agustus	11.118	1.477	12.595	8.903	0.300	9.203	3.392
9	September	11.553	1.477	13.030	9.335	0.300	9.635	3.395
10	Oktober	20.819	1.477	22.296	14.818	0.300	15.118	7.179
11	November	41.293	1.477	42.770	11.568	0.300	11.868	30.902
12	Desember	80.112	1.477	81.589	10.615	0.300	10.915	70.674



Gambar 9.4. Neraca air di lokasi kajian

Berdasarkan hasil analisa pada bagian sebelumnya, total ketersediaan airtanah di 3 Kecamatan A, B dan C mencapai $532,834 \text{ m}^3/\text{detik}$, sedangkan kebutuhan air untuk kepentingan irigasi dan lainnya sebesar $131,333 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan surplus $401,710 \text{ m}^3/\text{detik}$. Sehingga neraca

airtanah total masih aman, sedangkan defisit terjadi pada Bulan Juni sampai dengan Bulan Agustus. Perlu ada upaya-upaya konservasi agar ketersediaan airtanah semakin meningkat sejalan dengan peningkatan kebutuhan air irigasi.

Dalam telaah pengelolaan airtanah dilakukan berdasarkan pada kebijakan dan peraturan yang sudah ada, sehingga menghasilkan suatu konsep pengelolaan airtanah yang menjamin ketersediaannya dan pendaayagunaannya secara berkelanjutan, yakni salah satunya pengelolaan sumber daya air berdasarkan UU No.7/2004 dengan pertimbangan mengadakan pengelolaan sumber daya air terpadu yang dimodifikasi oleh Kodoatie dan Sjarief pada tahun 2005.

14 Perlindungan dan pelestarian sumber air ditujukan untuk melindungi dan melestarikan sumber air beserta lingkungan keberadaannya terhadap kerusakan atau gangguan yang disebabkan oleh daya alam, termasuk kekeringan dan yang disebabkan oleh tindakan manusia. Upaya perlindungan dan pelestarian air dapat dijadikan dasar dalam penatagunaan lahan dan dilakukan melalui:

- a. Pemeliharaan kelangsungan fungsi resapan air dan daerah tangkapan air.
- b. Pemanfaatan sebagian sumber air dengan perizinan yang jelas serta tegas.
- c. Rehabilitasi lahan dan hutan.
- d. Pengawetan Air

11 Pengawetan air ditujukan untuk memelihara ketersediaan air atau kuantitas air sesuai dengan fungsi serta manfaat yaitu dengan cara:

- e. Menyimpan air yang berlebih saat hujan untuk dapat dimanfaatkan pada waktu yang diperlukan.
- f. Menghemat air dengan pemakaian yang efisien dan efektif.
- g. Mengendalikan penggunaan airtanah
- h. Pengembangan Sumber Daya Air Pengembangan SDA meliputi:

47 Air permukaan pada sungai, danau, telaga dan mata air. Pengembangan air permukaan dilaksanakan dengan memperhatikan karakteristik dan fungsi sumber air yang bersangkutan. Airtanah merupakan salah satu sumber daya air yang keberadaannya terbatas dan kerusakannya dapat mengakibatkan dampak yang luas serta pemulihannya sulit dilakukan. Pengembangan airtanah pada cekungan airtanah dilakukan secara terpadu dalam pengembangan sumber daya

air pada wilayah sungai dengan upaya pencegahan terhadap kerusakan airtanah.

- 47 Pengembangan fungsi dan manfaat air hujan dilaksanakan dengan mengembangkan teknologi modifikasi cuaca. Yang dimaksud dengan modifikasi cuaca adalah upaya dengan cara memanfaatkan parameter cuaca dan kondisi iklim untuk tujuan meminimalkan bencana alam akibat cuaca dan iklim seperti kekeringan, kebakaran hutan dan banjir.
- i. 88 Pengusahaan Sumber Daya Air
Pengusahaan dapat berbentuk penggunaan air pada suatu lokasi tertentu sesuai persyaratan yang ditentukan dalam perizinan, serta Pemerintah Daerah mengatur dan menetapkan alokasi penggunaan sumber daya air serta wajib melakukan pengawasan mutu pelayanan.
- j. 16 Pengendalian Daya Rusak Air
Dilakukan secara menyeluruh yang mencakup pencegahan, penganggulangan dan pemulihan serta diselenggarakan dengan melibatkan masyarakat, tetapi tetap menjadi tanggung jawab Pemerintah daerah.
- k. 16 Sistem Informasi Sumber Daya Air
Pemerintah daerah menyelenggarakan pengelolaan sistem informasi sumber daya air sesuai dengan kewenangannya yang dikelola oleh berbagai institusi. Jaringan informasi sumber daya air harus dapat diakses oleh berbagai pihak yang berkepentingan dalam bidang sumber daya air.
- l. Pemberdayaan masyarakat
Pemerintah daerah menyelenggarakan pemberdayaan pada pemilik kepentingan (stakeholders dibidang sumber daya air) dan kelembagaan sumber daya air secara sistematis untuk peningkatan pengelolaan sumber daya air. Pemberdayaan diselenggarakan dalam bentuk pendidikan dan pelatihan, penelitian dan pengembangan serta pendampingan.

BAB 10

Intrusi AIR LAUT

DI KAWASAN

10.1. Umum

Intrusi atau penyusupan air asin ke dalam akuifer di daratan pada dasarnya adalah proses masuknya air laut di bawah permukaan tanah melalui akuifer di daratan atau daerah pantai. Dengan pengertian lain, yaitu proses terdesaknya airtanah oleh air laut di dalam akuifer pada daerah pantai (Hendrayana, 2002). Sebagian besar kondisi air tawar di beberapa daerah pantai di Indonesia telah tercemar oleh intrusi air laut. Intrusi air laut telah terdeteksi di daerah pantai Jakarta, Semarang, Denpasar, Medan dan daerah-daerah pantai lainnya. Seperti pada kawasan Sanur dan sekitarnya terancam intrusi air laut hingga 1,2 km dari lidah ombak atau gelombang air laut yang sampai di daratan, akibatnya pada kawasan tersebut kebutuhan air tawar makin berkurang (Suyanto, 2002). Di daerah Semarang sumur bor yang dikelola oleh PDAM Kendal yakni di Pandan airtanahnya sudah dipengaruhi oleh penyusupan air asin dengan jarak lokasi sumur bor dari garis pantai kurang lebih 5 km.

Selanjutnya Wuryanti, (2000) menyebutkan bahwa dari hasil uji pada 83 titik sampel airtanah yang dilakukan oleh Dinas Pertambangan Daerah Surabaya tahun 1996 menunjukkan bahwa luas kawasan intrusi air laut wilayahnya justru lebih besar dibanding kawasan yang belum terintrusi, sebagian besar barat laut, utara, timur dan barat daya kota Surabaya sudah mengalami intrusi air laut. Hasil penelitian Direktorat Geologi dan Tata Lingkungan menyebutkan, intrusi air laut kini hampir merata di seluruh wilayah Jakarta. Wilayah dalam radius 10-15 kilometer di Ibu Kota pada umumnya telah dilanda intrusi air laut (Risyani, 2004). Intrusi berdampak negatif terhadap kuantitas maupun kualitas airtanah, antara lain penurunan muka airtanah dan penurunan kualitas

airtanah dengan demikian perlu dilakukan upaya nyata dan terpadu untuk meminimalkan dampak negatif tersebut, baik oleh pemerintah, masyarakat maupun swasta. Airtanah terdiri atas airtanah tertekan dan airtanah yang tidak tertekan. Airtanah tertekan, adalah airtanah yang dibatasi oleh dua lapisan kedap air dan mempunyai tekanan naik ke atas, misalnya air sumur artesis dan air bron (spring) : Sumur artesis ada yang positif (airnya menyembur ke atas permukaan tanah) dan ada pula yang negatif (airnya dapat naik tetapi tidak sampai mencapai permukaan tanah) : Airtanah tak tertekan adalah airtanah yang dekat permukaan tanah yang tidak mempunyai tekanan untuk naik, sehingga harus dipompa atau ditimba, misalnya sumur pompa dangkal, sumur pompa dalam dan sumur gali (Wuryanti, 2000)

10.2. Penyebab Intrusi Air Laut

Intrusi laut disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya :

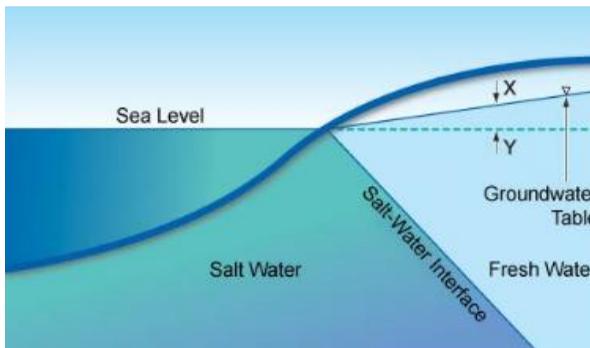
- Kenaikan Permukaan Laut.
 - a. Fenomena laut/iklim seperti El Nino Southern Oscillation (ENSO) yang menaikkan muka laut di pesisir pasifik Amerika Latin secara bersamaan dengan menurunkan muka laut di Pasifik barat.
 - b. Pembentukan cekungan geologis yang lebar dan dangkal.
- Penurunan muka airtanah atau bidang pisometrik di daerah pantai.
- Pemompaan airtanah yang berlebihan di daerah pantai.
- Proses intrusi makin panjang bila dilakukan pengambilan air tanah di daerah pantai dalam jumlah berlebihan.
- Masuknya air laut ke daratan melalui sungai, kanal, saluran, rawa, atau pun cekungan lainnya.
- Penebangan pohon bakau, penggalian karang laut untuk dijadikan bahan bangunan dan kerikil jalan. Pembuatan tambak udang dan ikan yang memberikan peluang besar masuknya air laut jauh ke daratan (Sasanti, 2007)

10.3. Mekanisme Intrusi Air Laut

Hubungan antara air laut dengan airtanah pada akuifer pantai pada keadaan statis dapat diterangkan dengan hukum Ghyben - Herzberg. Dengan adanya perbedaan berat jenis antara air laut

dengan airtanah, maka bidang batas (*interface*) tergantung pada keseimbangan keduanya (Hendrayana, 2002).

Pada gambar 10.1 terlihat bahwa pada kondisi statis tinggi permukaan air laut dan permukaan airtanah dalam keadaan seimbang, sehingga tidak terjadi pergeseran bidang atas (*interface*). Namun pada kondisi yang dinamis seperti terjadinya kenaikan permukaan air laut atau penurunan muka airtanah menyebabkan terjadinya perembesan air laut ke arah daratan sehingga terjadi peningkatan bidang atas air laut (*salt water interface*). Kondisi ini yang disebut dengan intrusi air laut. atau dengan kata lain intrusi air laut terjadi karena keseimbangan hidrostatis antara airtanah tawar dan airtanah asin di daerah pantai terganggu, sehingga terjadi pergerakan airtanah asin/air laut ke arah darat.



Gambar 10.1. Tinggi permukaan air laut dan permukaan airtanah dalam keadaan seimbang

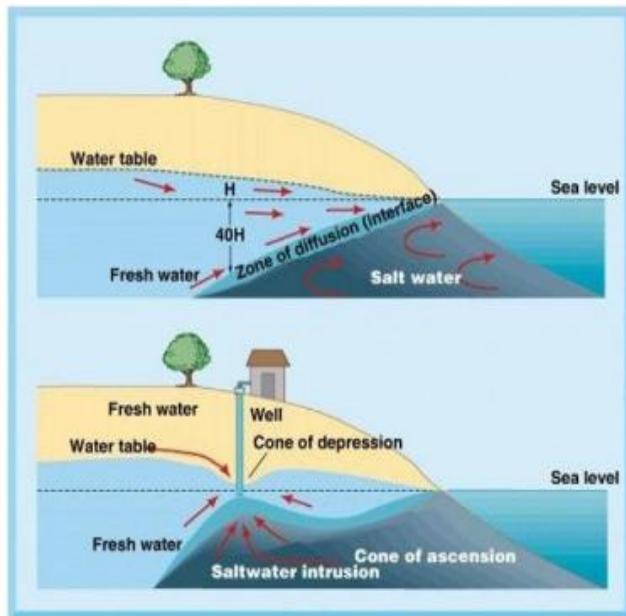
10.4. Proses intrusi air laut

Leboeuf, (2000) mengemukakan bahwa proses intrusi air laut terjadi melalui beberapa cara yaitu :

- Pergeseran batas air laut dan airtanah di daerah pantai. Pergeseran ini terjadi karena pengambilan airtanah berlebihan sehingga menurunkan muka airtanah.
- Pemompaan airtanah yang berlebihan di daratan. Akibat pemompaan yang berlebihan air yang tersedot bukan air tawar lagi tetapi air asin. Akibatnya air asin yang tersedot akan

menyebarkan dan mencemari airtanah bebas di sekitar pemompaan. Adanya pori-pori tanah yang berlubang, menyebabkan air laut masuk ke daratan. Hal itu terjadi karena air tanah yang dipompa keluar terlalu besar dan ruang kosong atau pori-pori ini diisi oleh air laut. Dampaknya, air di daratan yang selama ini tawar menjadi payau.

- c) Intrusi melalui muara sungai. Intrusi air laut pada air sungai menyebabkan air berkadar garam tinggi ini bergerak dan mengisi airtanah disekitarnya. Akibatnya airtanah di sekitar sungai berkadar garam tinggi juga.



Gambar 10.2. Proses terjadi intrusi air laut

Penentuan intrusi air laut pada akuifer pantai.

Menurut Hendrayana (2002) Penyusupan air asin/air laut pada akuifer pantai mengakibatkan perubahan komposisi kimiawi airtanah. Perubahan ini dapat terjadi dengan cara :

- a. Reaksi antara air laut dengan mineral- mineral yang

- terdapat dalam akuifer.
- Reaksi sulfat dan penambahan karbon atau asam lemah yang lain.
 - Terjadi pelarutan dan pengendapan.

Perubahan total hanya terjadi pada item yang ketiga, yaitu terjadinya pelarutan dan pengendapan. Ion Cl dan Na lebih dominan pada air laut, sedangkan pada airtanah yang dominan adalah CO₃ dan HCO₃. Komposisi kimiawi air bawah tanah akan bertambah dengan kandungan ion Cl. Untuk mengetahui adanya penyusupan tersebut dapat ditentukan dengan analisis kimia yang disebut perbandingan klorida bikarbonat ("*Chlorida Bicarbonate Ratio*") :

$$\text{yaitu} = \frac{\text{Cl}}{\text{CO}_3 + \text{HCO}_3} \text{ Satuan bjp}$$

Untuk salinitas airtanah akibat intrusi air laut, Todd (1959) mengklasifikasikan airtanah atas enam tingkat instrusi air asin yaitu :

- Tanpa intrusi. Nisbah Cl/(CO₃+HCO₃) < 0,5. Mutu air baik
- Sedikit intrusi. Nisbah Cl/(CO₃+HCO₃) : 0,5 – 1,3. Mutu air cukup baik.
- Intrusi sedang. Nisbah Cl/(CO₃+HCO₃) : 1,3 - 2,8. Mutu air sedang.
- Intrusi tinggi. Nisbah Cl/(CO₃+HCO₃) : 2,8 – 6,6. Mutu air buruk.
- Intrusi sangat tinggi. Nisbah Cl/(CO₃+HCO₃) : 6,6 – 15,5. Mutu air sangat jelek.
- Air laut. Nisbah Cl/(CO₃+HCO₃) : 200.

Selain menggunakan perbandingan klorida bikarbonat ("*Chlorida Bicarbonate Ratio*"), dalam menganalisis intrusi air asin dapat pula dengan menggunakan pendekatan kualitas airtanah dengan menggunakan klasifikasi keasinan airtanah yang telah disepakati oleh Panitia Ad Hoc Intrusi Air Asin (PAHIAA) di Jakarta pada tahun 1986 oleh beberapa instansi terkait, seperti Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Lembaga Geoteknologi LIPI, PAM dan Puslitbang Pengairan. Adapun kriteria tersebut adalah Daya Hantar Listrik (DHL) air tawar (< 1500 umhos/cm), air agak payau (>1500 - < 5000

umhos/cm), air payau (> 5000 - < 15000 umhos/cm), air asin (> 15000 - < 50000 umhos/cm), brine (> 50000 umhos/cm), dan Klorida air tawar (< 500 mg/l), air agak payau (> 500 - < 2000 mg/l), air payau (> 2000 - 5000 mg/l), air asin (> 5000 - 19000 mg/l), brine (> 19000 mg/l).

10.5. Permasalahan Intrusi Air Laut

Permasalahan yang timbul dengan adanya intrusi air laut adalah :

- a. Rusaknya air tanah yang tawar dan berganti menjadi asin.
Penggunaan air tanah yang telah mengalami intrusi untuk di konsumsi maupun kegiatan lain seperti mandi, dapat mengganggu kesehatan. Karena air ini telah mengandung NaCl (Natrium Chloride) yang tinggi dan dapat mengganggu metabolisme yang terjadi di dalam tubuh manusia. Penggunaan air payau untuk dikonsumsi dapat menyebabkan seseorang terkena penyakit perut seperti diare. Sedangkan bila digunakan untuk mandi, dapat memicu munculnya penyakit kulit, seperti gatal-gatal. Dalam waktu jangka panjang orang yang mengkonsumsi air payau akan mengalami gangguan penyakit serius karena metabolismenya terganggu dan sensitivitas tubuhnya untuk menerima air payau yang mengandung garam tersebut. (Toddy, 2005)
- b. Menurut Leboeuf, (2000) Intrusi air laut ke daratan akan mempengaruhi sifat fisik dan kimia tanah, yaitu :
 1. tekanan osmotik yang meningkat
 2. peningkatan potensi ionisasi
 3. infiltrasi tanah yang menjadi buruk
 4. kerusakan dan terganggunya struktur tanah
 5. permeabilitas tanah yang buruk
 6. penurunan konduktivitas
- c. Peningkatan salinitas tanah di daerah – daerah yang semula tidak terpengaruh.
- d. Kemunduran ke arah darat batas antara perairan tawar dan payau
- e. Perubahan fisik batas perairan darat
- f. Perubahan vegetasi yang tumbuh

- g. Perubahan profil dasar pantai. Menurut Dahuri *dkk* (2004) Perubahan profil dasar pantai akan mengubah regim arus dan gelombang sehingga pola erosi dan pengendapan serta distribusi tipe substrat subtidal juga berubah. Perubahan substrat akan mengubah pola distribusi organisme bentos, sedangkan perubahan arus pesisir akan mengubah pola rekrutmen populasi organisme bentos dan demersal.
- h. Pada sungai-sungai yang telah terjadi intrusi, dapat menyebabkan hilangnya jenis-jenis biota tertentu karena mengalami kematian atau bermigrasi ke daerah hulu karena tidak mampu beradaptasi dengan perubahan kadar garam yang tinggi.

Pencegahan Intrusi

- a. Melindungi pantai dengan vegetasi mangrove. Kawasan Pantai memiliki fungsi Sebagai sistem penyangga kehidupan. Sebagai daerah pengontrol siklus air dan proses intrusi air laut, keberadaan vegetasi di wilayah Pantai akan menjaga ketersediaan cadangan air permukaan yang mampu menghambat terjadinya intrusi air laut ke arah daratan. Kerapatan jenis vegetasi di sepanjang pantai dapat mengontrol pergerakan material pasir akibat pergerakan arus setiap musimnya. Daun mangrove mampu menyerap unsur Na, Cl dan Mg melalui sistem perakarannya yaitu: akar nafas, akar lutut atau akar banir dan akar tunjang, sehingga mekanisme tersebut akan dapat mencegah intrusi (perembesan) air laut masuk ke lapisan tanah di daratan.
- b. Meningkatkan kandungan airtanah yaitu membangun hutan lindung kota pada daerah resapan airtanah dengan tanaman yang mempunyai daya evapotranspirasi yang rendah. Tanaman yang mempunyai daya evapotranspirasi yang rendah antara lain: cemara laut (*Casuarina equisetifolia*), *Ficus elastica*, karet (*Hevea brasiliensis*), manggis (*Garcinia mangostana*), bungur (*Lagerstroemia speciosa*), *Fragaria fragrans* dan kelapa (*Cocos nucifera*) (Dahuri *dkk*, 2004)

Pengendalian intrusi air laut pada akuifer pantai.

Menurut Hendrayana (2002), Pengendalian intrusi air laut pada akuifer pantai dapat dilakukan dengan berbagai cara antara lain :

- a. Mengurangi pemompaan airtanah di daerah pantai. Pemompaan airtanah yang berlebihan akan mengganggu kesetimbangan, sehingga muka airtanah atau bidang pisometrik akan turun dan dengan mudah air laut mengisi kekosongan yang ditinggalkan oleh airtanah, maka dapat terjadi penyusupan air laut.

- b. Membuat pengisian airtanah secara buatan.

Pengisian airtanah secara buatan dilakukan dengan cara memasukkan kembali air yang ada di permukaan ke dalam akuifer dengan melalui beberapa metoda, antara lain dengan cara :

- Spreading
- Sumur pengisian atau sumur injeksi.

Cara *Spreading* adalah cara pengisian airtanah secara buatan yang dilakukan dengan cara menyebarkan kelebihan air permukaan melalui parit-parit yang dibuat di daerah pantai, sehingga melalui parit tersebut terjadi penambahan airtanah.

Cara sumur injeksi adalah cara pengisian airtanah secara buatan dengan membuat sumur dalam yang menembus akuifer dan menginjeksi atau memasukkan air permukaan ke dalam akuifer tersebut.

- c. Memompa air laut yang terletak pada akuifer pantai.

Dilakukan dengan cara pemboran di daerah pantai dan pada akuifer yang berisi air asin dikonstruksi/dipasang pipa saringan seperti halnya konstruksi sumur produksi biasa. Bedanya, pada kasus ini yang dipompa adalah air asin dan dengan keluarnya air asin, maka airtanah tawar akan mengisi kekosongan yang ditinggalkan oleh air asin. Akibatnya bidang batas antara air asin dan airtanah pada akuifer tersebut bergeser ke arah laut.

- d. Membuat penghalang di bawah tanah di daerah pantai.

Penghalang yang dibuat dengan tujuan untuk menjaga tekanan pematang airtanah yang dekat atau sejajar dengan pantai, tetap berada di atas muka laut, sehingga tidak terjadi pendesakan airtanah oleh air asin. Penghalang ini dapat dibuat dengan :

- Menyebarkan air tawar di permukaan dan air tersebut akan meresap ke dalam tanah, sehingga di bawah tempat penyebaran air tawar tersebut akan menjadi tinggi seolah-olah seperti penghalang.
 - Menginjeksi air tawar ke dalam akuifer di tepi pantai.
- e. Pengendalian penggunaan airtanah dengan melaksanakan penghematan atau membatasi penggunaan airtanah.
 - f. Pemantauan terhadap penggunaan airtanah harus dilakukan oleh semua pihak yang terkait baik masyarakat, dunia usaha dan pemerintah, sehingga semuanya menyadari pentingnya fungsi, peran dan keberadaan airtanah.
 - g. Penetapan zona konservasi airtanah dengan membagi wilayah-wilayah yang boleh melakukan pengambilan airtanah. Pada kawasan tertentu diperbolehkan dengan perlakuan khusus dan pada kawasan lain tidak boleh pengambilan airtanah. Regulasi atau aturan tersebut, perlu dibarengi dengan disiplin, sanksi dan peraturan yang mengikat semua pihak dan aspek kehidupan.
 - h. Pengalihan fungsi lahan terbuka hijau atau lahan-lahan yang berfungsi sebagai daerah resapan air hendaknya tidak terjadi lagi, karena selain dapat menghambat proses peresapan air ke dalam tanah juga dapat meningkatkan penguapan air dan memperbesar limpasan permukaan.
 - i. Penyuluhan akan pentingnya arti dan peran keberadaan airtanah sebagai bagian dari siklus hidrologi, sehingga penggunaannya harus dihemat, efektif dan efisien dapat dilakukan melalui lembaga-lembaga sosial masyarakat, sekolah, ulama dan pertemuan- pertemuan yang sifatnya informal yang dilakukan oleh tokoh-tokoh masyarakat setempat. Intrusi atau penyusupan air asin ke dalam akuifer di daratan pada dasarnya adalah proses masuknya air laut di bawah permukaan tanah melalui akuifer di daratan atau daerah pantai.

Intrusi air laut di sebagian besar wilayah pantai di Indonesia disebabkan oleh penurunan muka airtanah karena pemanfaatan airtanah yang berlebihan. Intrusi air laut menyebabkan

penurunan kualitas airtanah, mempengaruhi sifat fisik dan kimia tanah, kemunduran kearah darat batas antara perairan tawar dan payau dan perubahan profil dasar pantai. Dengan meningkatnya permasalahan airtanah di Indonesia yang semakin kompleks, khususnya mulai terjadinya intrusi air asin ke daerah pantai, sudah selayaknya dilakukan usaha-usaha pengendalian dan pengawasan terhadap kelestarian lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Asmaranto,R., Soemitro,R.A.A., Anwar, N (2012) <http://jurnalpengairan.ub.ac.id/index.php/jtp/article/download/150/148>
2. Anderson, M. P.,and Woessner,W.W., 1992,***Applied Groundwater Modeling***, Simulation of Flow and Adventive Transport, San Diego, Academic.Press., www.csun.edu/~hcgeo008/geol578.pdf
3. Asdak, C., 1995, ***Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai***, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
4. Bisri, M. 1991. ***Aliran Airtanah***. Malang:UPT. Penerbit Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
5. Boonstra,J.,1999, ***Well Hydraulic and Aquifer Test***, International Institute for Land Reclamation and Improvement The Netherlands.
6. Bruin, Jack andHudson, Jr, HE, 1961, ***Selected Methods for Pumping Test Analysis***, State of Illionis,USA.
7. DeFosset, KevinL. and Richards Christopher J., 2003, ***Analysis of Sand and Gravel Aquifer Pump Test***, Wright Landfill,Okaloosa County,Florida.Dingman,SL.,2002, ***PhysicalHydrology***, 2ndEdition, Upper Saddle River,NewJersey,PrenticeHall.
8. Duffield,Glenn M.,2010, ***Pumping Test (PumpTest)***, HydroSOLVE,Inc.Gregg,Neil,1996, ***Water Resources Management, Principles,Regulation and Cases***, MCGrawHill.
9. Hendrayana,Heru,DR.,2002, ***Dampak Pemanfaatan Airtanah***, Modul Kuliah Teknik Geologi, UGM.
10. Herrera,Ismael,1970.,***Theory of Multiple Leaky Aquifer***,Water Resources Research, vol6, no.1.
11. Irianto,S.G.,2007,***Pedoman Teknis Pengembangan Irigasi***

Airtanah Dangkal, Jakarta, Direktorat Pengelolaan Air, Dirjen Pengelolaan Lahan dan Air, Departemen Pertanian.

12. Kodoatie, Riobert J, Sjarief, Rustam, 2010, **Tata Ruang Air**, ANDI Offset, Yogyakarta. Kruseman G.P, de Ridder N.A, Verweij J.M, 1994, ***analysis and Evaluation of Pumping Test Data (Second Edition; completely revised)***, ILRI (International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands.

Sejalan dengan penurunan ketersediaan air permukaan, maka saat ini eksploitasi airtanah semakin meningkat.

Melalui buku ini akan disajikan tentang konsep aliran airtanah, teknik pendugaan, aplikasi software, interpretasi batuan, uji produksi airtanah serta teknik eksploitasi dan konservasi airtanah.



Penerbit :
LPPM UM Jember
Jl. Karimata 49 Jember

● **20% Overall Similarity**

Top sources found in the following databases:

- 18% Internet database
- Crossref database
- 12% Submitted Works database
- 3% Publications database
- Crossref Posted Content database

TOP SOURCES

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	onbordes.wordpress.com Internet	2%
2	wikizero.com Internet	2%
3	fryda10.blogspot.com Internet	1%
4	LL DIKTI IX Turnitin Consortium Part II on 2022-07-07 Submitted works	<1%
5	Syiah Kuala University on 2020-05-27 Submitted works	<1%
6	Universitas Mulawarman on 2019-12-06 Submitted works	<1%
7	Universitas Islam Indonesia on 2018-07-25 Submitted works	<1%
8	laporanp.blogspot.com Internet	<1%

9	ditjenpp.kemenkumham.go.id	Internet	<1%
10	idbiodiversitas.com	Internet	<1%
11	jdih.kotabogor.go.id	Internet	<1%
12	repository.uin-malang.ac.id	Internet	<1%
13	talaseta-bobikin90.blogspot.com	Internet	<1%
14	Universitas Brawijaya on 2021-02-16	Submitted works	<1%
15	Universitas Pendidikan Indonesia on 2021-01-21	Submitted works	<1%
16	tomatalikuang.com	Internet	<1%
17	jurnal.unimed.ac.id	Internet	<1%
18	file.umj.ac.id	Internet	<1%
19	UIN Syarif Hidayatullah Jakarta on 2019-05-13	Submitted works	<1%
20	fr.slideshare.net	Internet	<1%

21	geo-data.blogspot.com	Internet	<1%
22	we-didview.xyz	Internet	<1%
23	jurnal.fkip.uns.ac.id	Internet	<1%
24	ejournal.lppmunidayan.ac.id	Internet	<1%
25	Sriwijaya University on 2021-09-16	Submitted works	<1%
26	jurnal.narotama.ac.id	Internet	<1%
27	jurnal.ugj.ac.id	Internet	<1%
28	jurnalmahasiswa.stiesia.ac.id	Internet	<1%
29	mjayasaputra.blogspot.com	Internet	<1%
30	readbag.com	Internet	<1%
31	a32120887.blogspot.com	Internet	<1%
32	ejurnal.itats.ac.id	Internet	<1%

33	foresteract.com	Internet	<1%
34	jurnal.teknologiindustriumi.ac.id	Internet	<1%
35	repository.uncp.ac.id	Internet	<1%
36	Universitas Ibn Khaldun on 2020-04-09	Submitted works	<1%
37	angghajuner.blogspot.com	Internet	<1%
38	ejournal.radenintan.ac.id	Internet	<1%
39	ppjp.ulm.ac.id	Internet	<1%
40	sidikfajar60.blogspot.com	Internet	<1%
41	Universitas Diponegoro on 2020-01-24	Submitted works	<1%
42	adoc.tips	Internet	<1%
43	digilib.its.ac.id	Internet	<1%
44	jabar.pojoksatu.id	Internet	<1%

45	Riyan Benny Sukmara, Jarot Jaya Pratama, Ariyaningsih. "ANALISIS K...	<1%
	Crossref	
46	conference.unsri.ac.id	<1%
	Internet	
47	iqbal191189.blogspot.com	<1%
	Internet	
48	jurnal.uisu.ac.id	<1%
	Internet	
49	jurnal.unipasby.ac.id	<1%
	Internet	
50	Universitas Diponegoro on 2019-06-11	<1%
	Submitted works	
51	131design.nl	<1%
	Internet	
52	Satrio Satrio, Hendarmawan Hendarmawan, M. Sapari Dwi Hadian, E. R...	<1%
	Crossref	
53	eprints.latbangdjogja.web.id	<1%
	Internet	
54	Syiah Kuala University on 2020-07-21	<1%
	Submitted works	
55	Udayana University on 2018-03-04	<1%
	Submitted works	
56	anumaruni.wordpress.com	<1%
	Internet	

57	jim.unsyiah.ac.id	Internet	<1%
58	jurnaldampak.ft.unand.ac.id	Internet	<1%
59	jakarta.bpk.go.id	Internet	<1%
60	repository.unri.ac.id	Internet	<1%
61	ojs.unr.ac.id	Internet	<1%
62	Sultan Agung Islamic University on 2019-05-21	Submitted works	<1%
63	Syiah Kuala University on 2020-12-16	Submitted works	<1%
64	UIN Sunan Gunung Djati Bandung on 2018-05-03	Submitted works	<1%
65	dynilara.wordpress.com	Internet	<1%
66	ejournal-balitbang.kkp.go.id	Internet	<1%
67	ocs.unud.ac.id	Internet	<1%
68	rumahdesakoe.blogspot.com	Internet	<1%

69	Universitas Pelita Harapan on 2020-12-07 Submitted works	<1%
70	eprints.itenas.ac.id Internet	<1%
71	jurnal.univpgri-palembang.ac.id Internet	<1%
72	volontegenerale.nl Internet	<1%
73	UIN Syarif Hidayatullah Jakarta on 2020-09-25 Submitted works	<1%
74	Universitas Pertamina on 2021-08-18 Submitted works	<1%
75	Universitas Diponegoro on 2018-05-04 Submitted works	<1%
76	senitia.ft.unib.ac.id Internet	<1%
77	Udayana University on 2021-04-30 Submitted works	<1%
78	Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia on 2016-03-21 Submitted works	<1%
79	Universitas Diponegoro on 2019-05-11 Submitted works	<1%
80	agathaezwin.blogspot.com Internet	<1%

81	ansablo.blogspot.com Internet	<1%
82	Politeknik Negeri Bandung on 2018-08-09 Submitted works	<1%
83	School of Business and Management ITB on 2019-10-14 Submitted works	<1%
84	Universitas Brawijaya on 2019-08-08 Submitted works	<1%
85	Universitas Jember on 2019-10-24 Submitted works	<1%
86	bappeda.sumselprov.go.id Internet	<1%
87	geografisariwangi.blogspot.com Internet	<1%
88	pustaka.pu.go.id Internet	<1%
89	Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya on 2018-07-16 Submitted works	<1%
90	Universitas Jember on 2022-06-29 Submitted works	<1%
91	Universitas Pelita Harapan on 2020-12-07 Submitted works	<1%
92	bamsgeology.blogspot.com Internet	<1%

93	ejurnal.ung.ac.id	Internet	<1%
94	ft-sipil.unila.ac.id	Internet	<1%
95	unmuhjember.ac.id	Internet	<1%
96	Rita Aprilia, Ordas Dewanto, Karyanto Karyanto, Aldis Ramadhan. "ANA...	Crossref	<1%
97	Universitas Muhammadiyah Sidoarjo on 2020-01-21	Submitted works	<1%
98	idhem78.wordpress.com	Internet	<1%
99	kupdf.net	Internet	<1%
100	sumurbor-airtanah.blogspot.com	Internet	<1%
101	Sriwijaya University on 2021-07-01	Submitted works	<1%
102	Universitas Brawijaya on 2016-12-20	Submitted works	<1%
103	almaaruf.wordpress.com	Internet	<1%
104	ejournal.unsrat.ac.id	Internet	<1%

105	kurnia-12.blogspot.com Internet	<1%
106	repo.undiksha.ac.id Internet	<1%
107	repository.dinamika.ac.id Internet	<1%
108	sosial79.com Internet	<1%
109	Sriwijaya University on 2021-10-18 Submitted works	<1%
110	Udayana University on 2022-01-28 Submitted works	<1%
111	Universitas Hasanuddin on 2021-06-24 Submitted works	<1%
112	anyflip.com Internet	<1%
113	ejournal.uigm.ac.id Internet	<1%
114	itera on 2021-12-24 Submitted works	<1%
115	konservasiborobudur.org Internet	<1%
116	Dede Ifan Setianto, Sigid Sriwanto, Esti Sarjanti. "Kajian Pola Persebar..." Crossref	<1%

117	Syiah Kuala University on 2020-08-13 Submitted works	<1%
118	Universitas Brawijaya on 2018-07-18 Submitted works	<1%
119	Universitas Diponegoro on 2017-10-24 Submitted works	<1%
120	duniakumu.com Internet	<1%
121	eprints.uad.ac.id Internet	<1%
122	repository.uin-suska.ac.id Internet	<1%