

HUBUNGAN STRUKTUR GEOLOGI DAN SISTEM AIR TANAH

Air tanah merupakan salah satu sumberdaya alam yang berfungsi untuk mendukung kehidupan maupun aktivitas pembangunan. Sampai saat ini air tanah masih merupakan sumber utama untuk memenuhi kebutuhan air baku bagi penduduk, baik untuk air minum, rumah tangga, air irigasi maupun air untuk industri, sehingga air tanah merupakan kekayaan alam yang memenuhi hajat hidup orang banyak. Mengingat bahwa peran air tanah yang cukup vital, sehingga eksplorasi dan eksploitasi air tanah perlu dilakukan sesuai dengan kondisi ekonomi. Peran air tanah yang cukup penting tersebut, jika tidak terpenuhi akan menimbulkan berbagai masalah.

Geometri dari cekungan air tanah, secara alamiah dibatasi oleh batas-batas hidrolika yang dikontrol oleh kondisi geologi dan hidrogeologi wilayah setempat. Hubungan struktur geologi baik kekar, sesar maupun lipatan terhadap kondisi hidrogeologi sangat berkaitan erat.

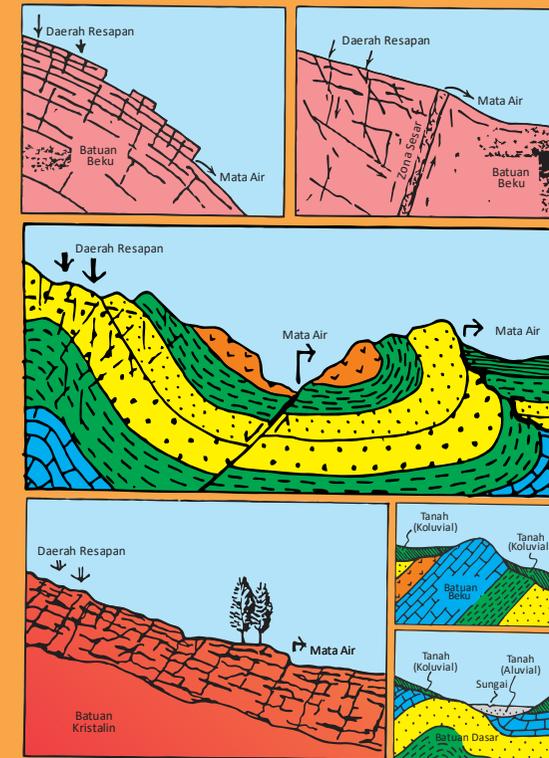
Buku ini membahas hubungan struktur geologi terhadap sistem air tanah di suatu daerah yang diharapkan dapat menjadi suatu metode pencarian air tanah di daerah-daerah dengan karakteristik air tanah yang langka, dan diharapkan menjadi suatu rancangan dasar dalam pembuatan rencana eksplorasi dan eksploitasi yang memungkinkan dalam pemanfaatan air tanah yang maksimal.

Diterbitkan Oleh:



LPPM UPN "VETERAN" PRESS
KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" YOGYAKARTA
2017

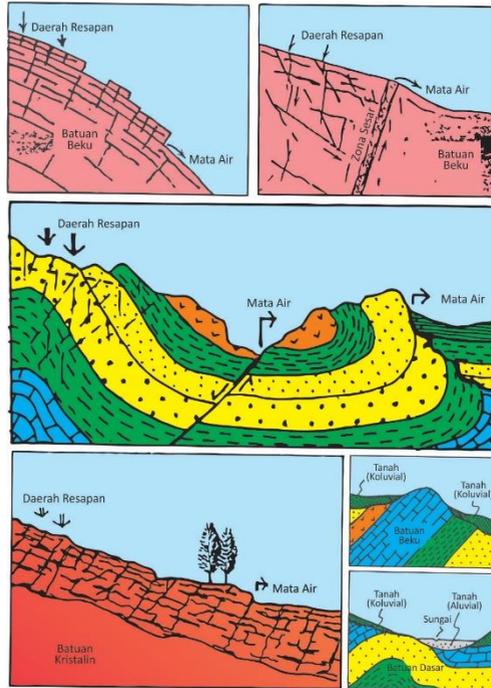
HUBUNGAN STRUKTUR GEOLOGI DAN SISTEM AIR TANAH



Tim Penyusun :

Bambang Prastisto, Puji Pratiknyo, Achmad Rodhi,
C. Prasetyadi, M. Ridwan Massora, Yulian Kurnia Munandar

HUBUNGAN STRUKTUR GEOLOGI DAN SISTEM AIR TANAH



Tim Penyusun :

**Bambang Prastitho, Puji Pratiknyo, Achmad Rodhi
C. Prasetyadi, M. Ridwan Massora, Yulian Kurnia Munandar**



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" YOGYAKARTA
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
2018**

Perpustakaan Nasional Katalog Dalam Terbitan
Bambang Prastitho, Puji Pratiknyo, Achmad Rodhi,
C. Prasetyadi, M. Ridwan Massora, Yulian Kurnia Munandar

Hubungan Struktur Geologi dan Sistem Air Tanah

Edisi ke-1, Cetakan ke-1

Kementerian Riset, Teknologi Dan Pendidikan Tinggi

ISBN 978-602-5534-11-9

Kutipan Pasal 44

Sanksi Pelanggaran Undang-Undang Hak Cipta 1987:

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 100.000.000,00 (seratus juta rupiah).
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang pelanggaran hak cipta sebagaimana dimaksud ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 50.000.000,00 (lima puluh juta rupiah).

Hubungan Struktur Geologi dan Sistem Air Tanah

Edisi ke-1

Cetakan Pertama, Februari 2018

Hak cipta pada Penulis

Hak penerbit pada Penerbit

Diterbitkan oleh:

LPPM UPN “Yogyakarta” Press

Kementerian Riset, Teknologi Dan Pendidikan Tinggi

Lembaga Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat

Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

Jl. SWK 104 (Lingkar Utara) Condongcatur, Yogyakarta 55283

Telepon/Faks.

:

7489874

UCAPAN TERIMAKASIH

Tanpa dukungan dan kontribusi seluruh pihak penulis tidak akan dapat menyelesaikan laporan ini. Penulis ucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada RISTEKDIKTI yang telah berkontribusi dalam pemberi dana dalam Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi Tahun 2017.

KATA PENGANTAR

Tujuan dari pembuatan buku ini adalah untuk memberikan gambaran mengenai hasil pelaksanaan kegiatan serta sebagai bentuk pertanggungjawaban pelaksana teknis kegiatan Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi Tahun 2017. Adapun pelaksanaan penelitian berjudul Kontrol Struktur Geologi Terhadap Geometri Cekungan Air Tanah di Kawasan Non Cekungan Air Tanah (Non CAT), Kabupaten Gunungkidul Bagian Utara, Tahun 2017.

Air tanah merupakan salah satu sumberdaya alam yang berfungsi untuk mendukung kehidupan maupun aktivitas pembangunan. Sampai saat ini air tanah masih merupakan sumber utama untuk memenuhi kebutuhan air baku bagi penduduk, baik untuk air minum, rumah tangga, air irigasi maupun air untuk industri, sehingga air tanah merupakan kekayaan alam yang memenuhi hajat hidup orang banyak.

Peran air tanah yang cukup penting tersebut, apabila dieksploitasi secara berlebihan melebihi potensi yang ada dimungkinkan akan dapat menimbulkan dampak negatif terhadap kuantitas dan kualitas air tanah itu sendiri maupun lingkungannya.

Geometri dari cekungan air tanah, secara alamiah dibatasi oleh batas-batas hidraulika yang dikontrol oleh kondisi geologi dan hidrogeologi wilayah setempat. Hubungan struktur geologi baik kekar, sesar maupun lipatan terhadap kondisi hidrogeologi sangat berkaitan erat. Contoh pengamatan yang dilakukan di kawasan Gunungkidul bagian utara yang tergolong sebagai kawasan Non Cekungan Air Tanah/CAT (ESDM, 2008) dikontrol oleh lapisan-lapisan batuan hasil produk gunung api purba yang telah mengalami pemadatan membentuk batuan yang kurang baik porositas antar butirnya sehingga kurang baik sebagai akuifer dengan porositas antar butir. Kenyataan dilapangan didapatkan data bahwa di kawasan Non CAT tersebut ditemukan adanya sumur gali, sumur bor dan mata air yang airnya ada sepanjang tahun. Oleh karena itu, peneliti memiliki asumsi bahwa di kawasan Non CAT tersebut ada kontrol struktur geologi sebagai porositas sekunder.

Maka pengkajian kondisi struktur geologi yang baik dapat menjelaskan secara rinci kondisi hidrogeologi suatu daerah dalam

rangka eksplorasi dan eksploitasi pemanfaatan air tanah baik secara menyeluruh maupun setempat.

Yogyakarta, Februari 2018
Penulis/Tim Peneliti

DAFTAR ISI

UCAPAN TERIMAKASIH.....	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	x
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
BAB 2 PENGENALAN TENTANG GEOLOGI DAN AIR TANAH.....	2
2.1. Pengantar Geologi.....	2
2.2. Pengantar Petrologi.....	4
2.3. Pengantar Geologi Struktur.....	8
2.3.1. Kekar.....	9
2.3.2. Sesar.....	10
2.3.3. Lipatan.....	17
2.3.4. Analisis Detail Geologi Struktur.....	17
2.4. Pengantar Air Tanah.....	19
2.4.1. Tipologi Sistem Akuifer.....	20
2.4.2. Geometri Akuifer.....	25
2.4.3. Mata Air.....	26
2.4.4. Daerah Terdapatnya Air Tanah.....	27
BAB 3 APLIKASI STRUKTUR GEOLOGI DALAM MENGETAHUI KONDISI HIDROGEOLOGI..	30
3.1. Kekar, Sesar dan Bidang Diskontinuitas.....	30
3.2. Tipologi Sistem Akuifer.....	36
3.3. Pemetaan Hidrogeologi.....	41
3.3.1. Air Tanah Bebas.....	43

3.3.2. Air Tanah Tertekan.....	50
3.4. Survey Geofisika Air tanah.....	56
3.4.1. Metode Sounding Schlumberger.....	60
3.4.2. Metode Dipole-Dipole.....	67
3.4.3. Permodelan Berdasarkan Survey Geolistrik	68
3.5. Potensi Air tanah di Gunungkidul bagian Utara.....	72
3.5.1. Uji Pemompaan.....	72
3.5.2. Kualitas Air Tanah.....	74
BAB 4 PENUTUP.....	82
DAFTAR PUSTAKA.....	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Daur geologi dan daur batuan (JICA, 1999).....	3
Gambar 2.2	Potensi air tanah pada rekahan aliran lava (JICA, 1999).....	6
Gambar 2.3	Mata air lewat zona sesar pada batuan baik (kiri), dan lewat pada akumulasi kekar (<i>cooling joint</i>) (JICA, 1999).....	6
Gambar 2.4	Batuan dasar yang tertutup oleh tanah (<i>overburden</i>) (JICA, 1999).....	8
Gambar 2.5	Diagram balok kekar: (a) Tegasan yang bekerja di suatu kubus dan pola kekar yang terbentuk, (b) Hubungan antara tegasan utama dengan sudut geseran dalam (Means, 1976).....	10
Gambar 2.6	Unsur-unsur Struktur Sesar (Twiss & Moore, 1992).....	12
Gambar 2.7	Diagram klasifikasi sesar (Rickard, 1972).....	13
Gambar 2.8	Pemodelan <i>Riedel Shear</i> (dalam Harding dkk., 1971).....	15
Gambar 2.9	Pemodelan Sesar Mendatar (Moody dan Hill, 1956).....	16
Gambar 2.10	Mekanisme gaya yang menyebabkan terbentuknya lipatan (a) <i>bending</i> , (b) <i>buckling</i> (Suppe, 1985)	17
Gambar 2.11	Diagram memperlihatkan posisi relatif beberapa istilah yang berkaitan dengan air bawah permukaan (Fetter, 1994)....	20
Gambar 2.12	Model tipologi akuifer endapan gunungapi (S. Mandel, 1981 dan Puradimaja, 1993 dalam Juanda D., 2012)..	22
Gambar 2.13	Model tipologi akuifer endapan aluvial (S. Mandel, 1981 dan Puradimaja, 1993 dalam Juanda D., 2012).....	22
Gambar 2.14	Model tipologi akuifer batuan kristalin (S. Mandel, 1981 dan Puradimaja, 1993 dalam Juanda D., 2012).....	22

Gambar 2.15	Model tipologi akuifer batuan sedimen terlipat dan sedimen karbonat (S. Mandel, 1981 dan Puradimaja, 1993 dalam Juanda D., 2012)	23
Gambar 2.16	Tipe batas cekungan air tanah pada geometri akuifer (Permen ESDM No.13 tahun 2009).....	24
Gambar 2.17	Jenis-jenis mata air didasarkan kontrol geologi dan topografi (Fetter, 1994).....	27
Gambar 3.1	Tipe permodelan aliran air tanah pada batuan terkekarkan (Singhal, 2010).....	32
Gambar 3.2	Intensitas kepadatan kekar (Singhal, 2010)	32
Gambar 3.3	Skema yang merepresentasikan tipe porositas akibat rekahan dan litologi (Singhal, 2010) : (a) <i>purely fractured</i> , (b) <i>double porosity</i> dan (c) <i>heterogenous</i>	33
Gambar 3.4	Jenis rekahan di Desa Guyangan, Kecamatan Gedangsari, Kab. Gunungkidul: (A, B) zona sesar dengan intensitas kepadatan kekar <i>strong</i> , (C, D) kekar terisi mineral tipe <i>heterogenous</i>	33
Gambar 3.5	Jenis rekahan di Desa Jurangjero, Kecamatan Nglipar, Kabupaten Gunungkidul: (A, B, C) zona sesar dengan intensitas kepadatan kekar <i>strong</i> ; (D, E) kekar dengan intensitas kepadatan <i>strong</i>	35
Gambar 3.6	Diagram blok 3D akuifer yang dikontrol gejala geologi pada Kecamatan Nglipar, Kabupaten Gunungkidul (modifikasi dari A. Rodhi, 2016).....	37
Gambar 3.7	Penampang ideal Baturagung menunjukkan system <i>half-graben</i> , dengan sistem domino Kebo-Butak berada pada bagian utara, <i>horst</i> Baturagung pada bagian tengah dan Semilir <i>half-graben</i> pada bagian selatan (modifikasi A. Rodhi, 2016).....	37
Gambar 3.8	Longsor, <i>colloival</i> dan soil hasil pelapukan batuan dasar di Kecamatan Gedangsari, Kabupaten Gunungkidul	39
Gambar 3.9	Permodelan akuifer rekahan pada batuan Tersier di Perbukitan Baturagung (gambar kanan menurut Hamblin, 2009).....	40

Gambar 3.10	Permodelan rekahan dan antar butir pada batuan Karbonat Formasi Oyo dan Formasi Wonosari (gambar kiri atas menurut Hamblin, 2009, gambar bawah menurut Bahagiarti, 2004).....	40
Gambar 3.11	Peta struktur geologi dan muka air tanah bebas daerah Hargomulyo, Kecamatan Gedangsari, Kabupaten Gunungkidul.....	45
Gambar 3.12	Metode interpolasi kontur muka air tanah (Todd, 1980).....	47
Gambar 3.13	Peta struktur geologi, muka air tanah dan <i>flownet</i> di Kecamatan Nglipar, Kabupaten Gunungkidul.....	49
Gambar 3.14	Peta geologi yang menghasilkan penampang geologi berdasarkan rekonstruksi unsur-unsur struktur geologi hasil pemetaan geologi permukaan di Kabupaten Gunungkidul bagian utara	52
Gambar 3.15	Electrical Logging Daerah Sambeng II, Kabupaten Gunungkidul	54
Gambar 3.16	<i>Long period</i> Uji Pemompaan di Desa Watu Sigar, Kecamatan Nglipar, Kabupaten Gunungkidul.....	55
Gambar 3.17	Perhitungan Debit Optimum sumur di Desa Watu Sigar, Kecamatan Nglipar, Kabupaten Gunungkidul.....	55
Gambar 3.18	Sistem Kerja Metoda Geolistrik Tahanan Jenis/ <i>Resistivity</i> (Todd, 1980).....	57
Gambar 3.19	Beberapa Konfigurasi Elektroda yang Digunakan Dalam Survei Metoda Geolistrik Tahanan Jenis (Todd, 1980)	57
Gambar 3.20	Kisaran Tahanan Jenis pada beberapa material (Todd, 1980)	60
Gambar 3.21	Log resistivitas geolistrik (GJ-1/2/3) dan sumur bor (B-GJ) Dusun Gojo, Desa Kedungpoh (Sumber data: Pusat Sumber Daya Air Tanah dan Geologi Lingkungan, 2012).....	63
Gambar 3.22	Interpretasi akuifer berdasarkan log resistivitas geolistrik (GJ-1/2/3) dan sumur bor (B-GJ) Dusun Gojo, Desa Kedungpoh.....	64

Gambar 3.23	Log resistivitas geolistrik (JB-1/2/3) dan sumur bor (B-JB) Dusun Jember, Desa Natah (Sumber data: Pusat Sumber Daya Air Tanah dan Geologi Lingkungan, 2012).....	65
Gambar 3.24	Interpretasi akuifer berdasarkan log resistivitas geolistrik (JB-1/2/3) dan sumur bor (B-JB) Dusun Jember, Desa Natah	66
Gambar 3.25	Hasil pengukuran survey geolistrik akuifer di Desa Hargomulyo, Kecamatan Gedangsari, Kabupaten Gunungkidul metode <i>Schlumberger</i> (kiri) dan metode <i>Dipole-dipole</i> (kanan)	68
Gambar 3.26	Penampang detil satuan batuan & akuifer air tanah di Sungai Ngalang, Kecamatan Gedangsari, Kabupaten Gunungkidul berdasarkan pemetaan geologi permukaan dan survey geolistrik	68
Gambar 3.27	Diagram balok struktur geologi daerah Kecamatan Gedangsari, Kabupaten Gunungkidul	71
Gambar 3.28	Diagram balok satuan batuan & akuifer air tanah di Kecamatan Gedangsari, Kabupaten Gunungkidul berdasarkan pemetaan geologi permukaan dan profil resistivitas geolistrik	72
Gambar 3.29	Tipikal Skema Uji Pemompaan/akuifer (Moench, 1984).....	73

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Porositas bataun sedimen berdasarkan beberapa faktor (JICA, 1999)	8
Tabel 3.1	Variasi material bumi/batuan, (Todd, 1980)	59
Tabel 3.2	Hasil Analisa Kualitas Air Tanah Desa Pengkol, Nglipar, Gunungkidul	75
Tabel 3.3	Hasil Analisa Kualitas Air Tanah Desa Watu Sigar, Ngawen, Gunungkidul	76
Tabel 3.4	Hasil Analisa Kualitas Air Tanah Desa Mertelu Kulon, Gedangsari, Gunungkidul	78
Tabel 3.5	Hasil Analisa Kualitas Air Tanah Desa Tancep, Ngawen, Gunungkidul	79
Tabel 3.6	Hasil Analisa Kualitas Air Tanah Desa Umbul Rejo, Ponjong, Gunungkidul	80

BAB 1

PENDAHULUAN

Air tanah sebagai sumberdaya alam yang terbarukan memiliki peranan penting dalam penyediaan pasokan kebutuhan air untuk berbagai keperluan. Peranan air tanah yang semakin vital tersebut, maka dalam pemanfaatannya harus memperhatikan keseimbangan dan pelestarian. Selain itu air tanah sebagai salah satu sumberdaya air, saat ini telah menjadi permasalahan yang kompleks, sehingga diperlukan berbagai kegiatan guna mengurangi dampak negatif yang timbul sebagai akibat dari kegiatan eksploitasi air tanah yang tidak terkendali.

Peran air tanah yang cukup penting tersebut, apabila dieksploitasi secara berlebihan melebihi potensi yang ada dimungkinkan akan dapat menimbulkan dampak negatif terhadap kuantitas dan kualitas air tanah itu sendiri maupun lingkungannya.

Air tanah, secara alamiah dibatasi oleh batas-batas hidrolika yang dikontrol oleh kondisi geologi dan hidrogeologi wilayah setempat. Aspek hidrogeologi menempatkan rekahan dan bidang diskontinuitas sebagai hal paling penting dalam aspek struktur geologi. Rekahan dan bidang diskontinuitas pada batuan berfungsi sebagai tempat penyimpanan fluida sebagai porositas sekunder. Konduktivitas hidrolis pada rekahan berbanding terbalik dengan tekanan normal yang banyak dipengaruhi oleh kedalaman. Nilai permeabilitas dapat menurun karena peningkatan suhu akibat kedalaman, sementasi, umur dan tingkat pelapukan. Panjang rekahan akan meningkatkan massa jenis dan konduktivitas hidrolisnya. Oleh karenanya pemahaman struktur geologi pada akuifer penting untuk menggambarkan massa batuan dan mengukur pola dan sifat bidang diskontinuitas.

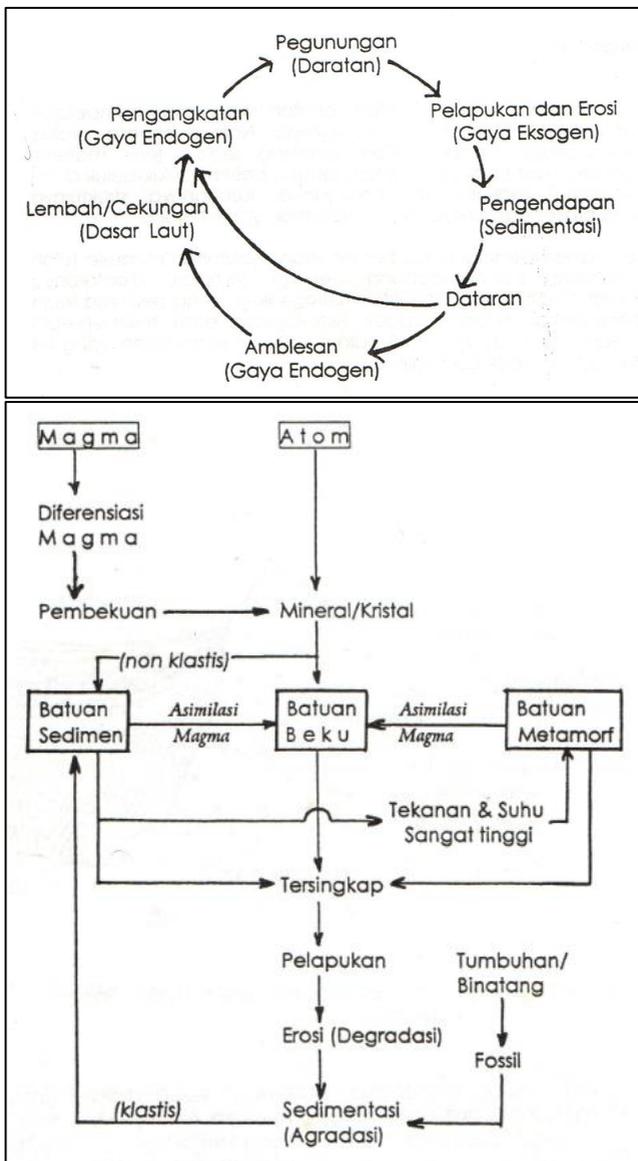
BAB 2

PENGENALAN TENTANG GEOLOGI DAN AIR TANAH

2.1. Pengantar Geologi

Secara umum, geologi adalah ilmu yang mempelajari bumi dengan segala seluk-beluknya. Namun secara praktis hanya sebatas pada kajian terhadap segala jenis material penyusun kulit bumi yang umum disebut batuan. Seluk-beluk di sini mencakup asal-usul dan genesanya, susunannya, struktur serta proses dan perubahan-perubahan yang terjadi.

Penerapan geologi untuk pemenuhan kebutuhan manusia telah melahirkan cabang-cabang geologi terapan, diantaranya adalah Geohidrologi atau Hidrogeologi. Yang pertama lebih menekankan kepada aspek hidrologinya atau hukum-hukum tentang aliran air tanah di dalam batuan, sedangkan yang ke dua pada aspek geologinya. Proses geologi berlangsung secara berkesinambungan, bertahap dan berulang dalam waktu yang relatif lama mengikuti suatu daur geologi (Gambar 2.1).



Gambar 2.1 Daurl geologi dan daurl batuan (JICA, 1999)

2.2. Pengantar Petrologi

Batuan adalah istilah umum untuk segala jenis material penyusun kulit bumi, bias berupa massa yang bersifat padu atau urai, keras atau lunak, basah atau kering. Batuan bias tersusun oleh satu atau lebih mineral, ataupun fragmen-fragmen batuan lain yang terbentuk secara alami.

Secara genetic terdapat tiga kelompok dasar batuan penyusun kulit bumi, yakni batuan beku, metamorf dan sedimen. Ke tiga nya secaragenetik memiliki hubungan kasual satu dengan yang lainnya menyerupai daur (Gambar 2.1).

1. Batuan Beku

Berasal dari pembekuan magma, yakni massa yang bersifat kental dan pijar serta banyak mengandung mineral Silikat serta gas. Magma bersifat *mobile* karena arus konveksi sehingga bias bergerak menuju permukaan bumi melalui zona-zona lemah seperti rekahan, sesar, bidang perlapisan, dll.

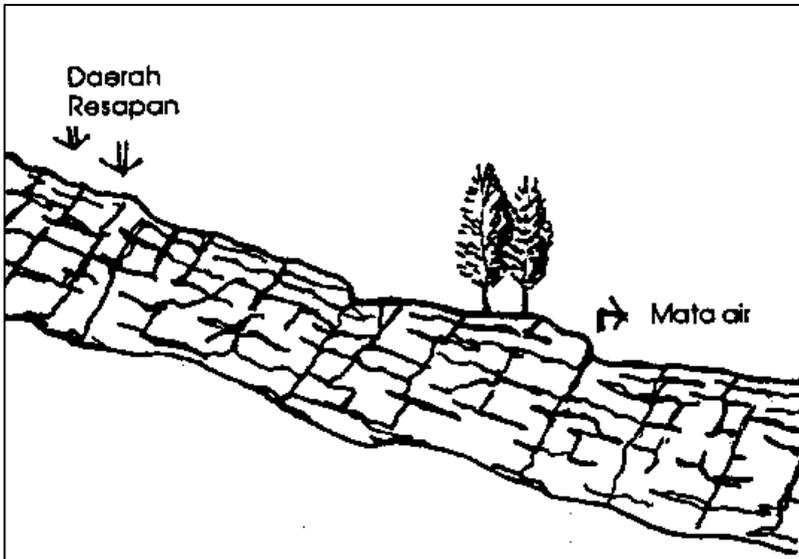
Magma yang membeku di tempat yang dalam (intrusif) kristalnya besar dan terdiri dari sebagian besar massa kristal. Semakin mendekati permukaan, maka kristal yang terbentuk semakin kecil. Batuan beku luar (ekstrusif) bahkan tidak sempat mengkristal akibat proses pendinginan yang cepat. Disamping banyak mengandung rekahan (*cooling joint*), pada batuan beku luar sering dijumpai juga lubang-lubang gas (*scoria*) sehingga relatif mudah lapuk. Oleh karena itu, batuan beku lelehan seperti lava pada umumnya memiliki porositas yang relatif tinggi dan sering menunjukkan kandungan air tanah yang potensial (Gambar 2.2 dan Gambar 2.3).

Namun batuan beku pada umumnya bersifat padu, pejal dan eras, sehingga tergolong massa yang impermeable. Porositas dan potensi air tanahnya tergantung kepada derajat pelapukannya, frekuensi dan sifat-sifat rekahan serta asosiasinya dengan struktur geologi regional lainnya seperti zona sesar dll.

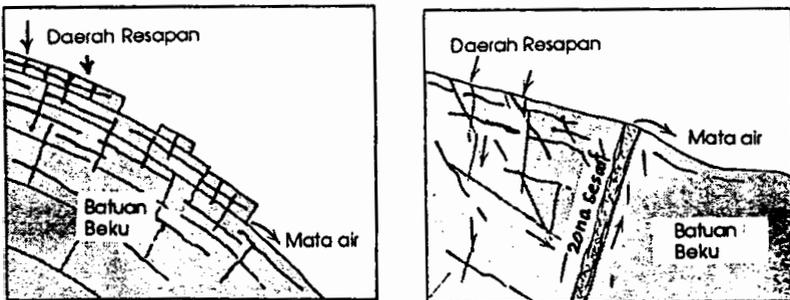
2. Batuan Metamorf

Berasal dari segala jenis batuan yang sudah ada, kemudian termetamorfosa akibat pembebanan dan temperature yang sangat tinggi. Akibatnya batuan yang terbentuk samasekali berbeda dengan batuan asalnya, baik komposisi mineral, struktur maupun teksturnya.

Sama halnya dengan batuan beku, batuan metamorf termasuk media pembawa air yang buruk. Derajat porositasnya tergantung kepada tingkat pelapukannya, pola, sifat dan frekuensi rekahan dan umumnya menurun sesuai dengan kedalaman. Sekis dan geneis sering mengandung rekahan akibat tektonik. Marmer yang berasal dari malihan batugamping, sering mengandung rongga tempat akumulasi air tanah, disebabkan mineral karbonatnya yang mudah larut.



Gambar 2.2 Potensi air tanah pada rekahan aliran lava (JICA, 1999)



Gambar 2.3 Mata air lewat zona sesar pada batuan baik (kiri), dan lewat pada akumulasi kekar (*cooling joint*) (JICA, 1999)

3. Batuan Sedimen

Batuan sedimen merupakan akumulasi material hasil erosi (*degradasi*) dari batuan lain yang telah ada, baik lewat media air (*aqueous deposit*) maupun media udara (*aeolian deposit*) dan disebut dengan sedimen klastik. Atau hasil pelarutan dan pengkristalan kembali dari batuan yang mudah larut dan disebut

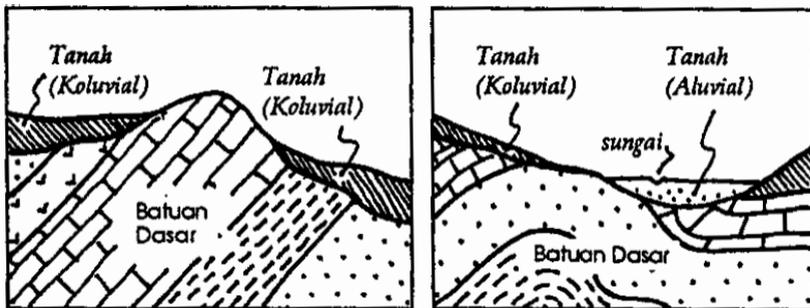
batuan sedimen non-klastik. Batuan sedimen yang berasal dari pengendapan langsung bahan-bahan letusan gunungapi dinamakan batuan piroklastik.

Dengan demikian, batuan sedimen klastik bisa terdiri atas fragmen-fragmen batuan dari berbagai ukuran, sedangkan sedimen non-klastik bias merupakan akumulasi sisa-sisa atau produk dari binatang dan tumbuhan yang lazim disebut dengan sedimen organik, bias juga merupakan produk yang dihasilkan dari proses evaporasi.

Karakteristik umum batuan sedimen adalah adanya bidang perlapisan. Sedangkkn pada batuan sedimen, porositasnya ditentukan oleh banyak faktor seperti yang terlihat pada Tabel 2.1. Oleh karena itu batuan sedimen tergolong media pembawa air yang baik, terutama batuan sedimen yang berumur muda (Kuarter). Sedangkan sedimen masa kini (*Recent*) pada umumnya belum terkonsolidasi sehingga bersifat lunak bahkan terurai karena proses litifikasi dan sementasinya belum sempurna, misalnya endapan sungai (aluvial), endapan teras, kipas aluvial, dll. Demikian juga batuan yang telah mengalami pelapukan kuat bahkan sempurna, selain lunak juga tidak terkonsolidasi. Kondisi batun di atas sering diklasifikasikan sebagai tanah atau *overburden* (Gambar 2.4). Sedangkan formasi batuan di bawahnya yang masih padu dan relatif masih keras disebut batuan dasar (*bed rock*).

Tabel 2.1 Porositas batuan sedimen berdasarkan beberapa faktor (JICA, 1999)

No.	Faktor	Klasifikasi		
1.	Tingkat Pelapukan	Ringan	Sedang	Kuat
2.	Pengaruh Tektonik	Lemah	Sedang	Kuat
3.	Umur Geologi	Tersier	Plistosen	Resen
4.	Ukuran Butir	Halus	Sedang	Kasar
5.	Gradasi	Baik	Senjang/Gap	Buruk
6.	Bentuk Butir	Runcing	Sedang	Bundar
7.	Sementasi	Silikat	Campuran	Karbonat
Porositas		Kecil	>>>	Besar



Gambar 2.4 Batuan dasar yang tertutup oleh tanah (*overburden*) (JICA, 1999)

2.3. Pengantar Geologi Struktur

Geologi struktur adalah bagian dari ilmu geologi yang mempelajari tentang bentuk (arsitektur) batuan sebagai hasil dari proses deformasi. Adapun deformasi batuan adalah perubahan bentuk dan ukuran pada batuan sebagai akibat dari gaya yang bekerja di dalam bumi. Secara umum pengertian geologi struktur adalah ilmu yang mempelajari tentang bentuk arsitektur batuan sebagai bagian dari kerak bumi serta menjelaskan proses pembentukannya.

Beberapa kalangan berpendapat bahwa geologi struktur lebih ditekankan pada studi mengenai unsur-unsur struktur geologi, seperti perlipatan (*fold*), rekahan (*fracture*), patahan (*fault*), dan sebagainya

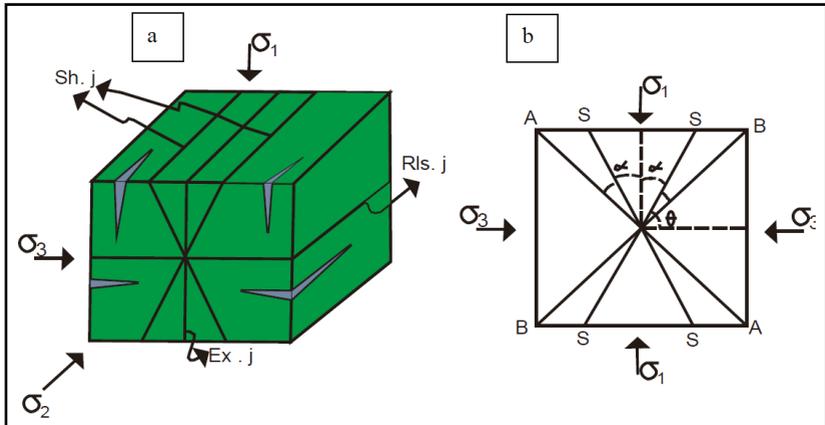
yang merupakan bagian dari satuan tektonik (*tectonic unit*), sedangkan tektonik dan geotektonik dianggap sebagai suatu studi dengan skala yang lebih besar, yang mempelajari obyek-obyek geologi seperti cekungan sedimentasi, rangkaian pegunungan, lantai samudera, dan sebagainya. Sebagaimana diketahui bahwa batuan-batuan yang tersingkap dimuka bumi maupun yang terekam melalui hasil pengukuran geofisika memperlihatkan bentuk-bentuk arsitektur yang bervariasi dari satu tempat ke tempat lainnya. Bentuk arsitektur susunan batuan di suatu wilayah pada umumnya merupakan batuan-batuan yang telah mengalami deformasi sebagai akibat gaya yang bekerja pada batuan tersebut. Deformasi pada batuan dapat berbentuk lipatan maupun patahan/sesar.

2.3.1. Kekar

Kekar adalah bidang rekahan yang tidak memperlihatkan pergeseran yang berarti (bagian masanya masih berhubungan/bergabung). Kekar dapat terbentuk baik secara primer (bersamaan dengan pembentukan batuan, misalnya kekar kolom dan kekar melembar di batuan beku) maupun secara sekunder (setelah proses pembentukan batuan, umumnya merupakan kekar tektonik).

Kekar tektonik berdasarkan genesanya, dibagi menjadi: *Shear joint* (kekar gerus), yaitu kekar yang terjadi akibat tegasan kompresif (*compressive stress*); *Tension joint* (kekar tarik), yaitu kekar yang terjadi akibat tegasan tarikan (*tension stress*), yang dibedakan menjadi *Extension joint*, terjadi akibat peregangan/tarikan dan *Release joint*, terjadi akibat hilangnya tegasan yang bekerja.

Pola tegasan yang membentuk kekar-kekar tersebut terdiri dari tegasan utama maksimum (σ_1), tegasan utama menengah (σ_2) dan tegasan utama minimum (σ_3). Tegasan utama maksimum (σ_1) membagi sudut lancip yang dibentuk oleh kedua *shear joint*, sedangkan tegasan utama minimum (σ_3) membagi sudut tumpul yang dibentuk oleh kedua *shear joint* (lihat Gambar 2.5).



Gambar 2.5 Diagram balok kekar: (a) Tegangan yang bekerja di suatu kubus dan pola kekar yang terbentuk, (b) Hubungan antara tegangan utama dengan sudut geseran dalam (Means, 1976)

Keterangan:

Φ : sudut geseran dalam dari batuan/*angle of internal friction*,

α : sudut antara tegangan utama maksimum (σ_1) dengan *shear joint*, &

θ : sudut antara tegangan utama minimum (σ_3) dengan *shear joint*.

Secara teoritis, rekahan atau bidang geser yang terbentuk adalah AA dan BB.

2.3.2. Sesar

Sesar atau patahan adalah rekahan pada batuan yang telah mengalami pergeseran yang berarti, melalui bidang rekahnya. Suatu sesar dapat berupa Bidang Sesar (*Fault Plane*), atau rekahan tunggal. Tetapi lebih sering berupa jalur sesar (*Fault Zone*), yang terdiri lebih dari satu sesar. Jalur sesar atau jalur penggerusan (*Shear Zone*), mempunyai dimensi panjang dan lebar yang beragam, dari skala minor sampai puluhan kilometer. Kekar yang memperlihatkan pergeseran dapat pula dikatakan sebagai sesar minor.

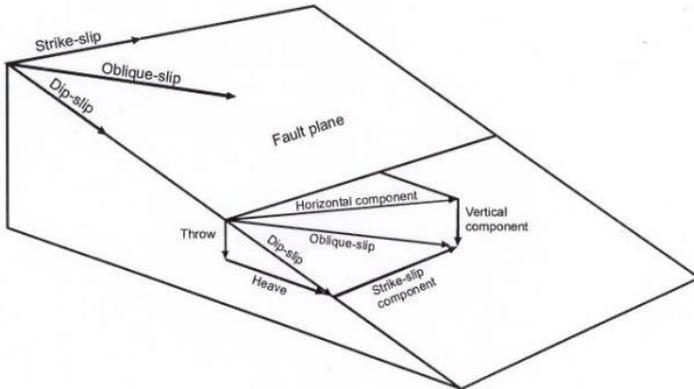
Shear zone adalah suatu zona yang berbentuk tabular sampai melembar dan planar (datar) sampai bergelombang yang terbentuk pada batuan yang cenderung memiliki tingkat keterakan yang lebih besar daripada batuan sekitarnya, dengan intensitas yang terkadang lebih tinggi. *Shear Zone* memiliki ciri-ciri yang dapat dikenali di

lapangan. Karakteristiknya berbeda tergantung dimana *Shear Zone* terbentuk, dapat dibedakan sebagai berikut:

- a. *Brittle Shear Zone*, yaitu jalur penggerusan pada batuan yang getas
- b. *Ductile Shear Zone*, yaitu jalur penggerusan pada batuan yang lentur
- c. *Semi Brittle Shear Zone*
- d. *Semi ductile Shear Zone*

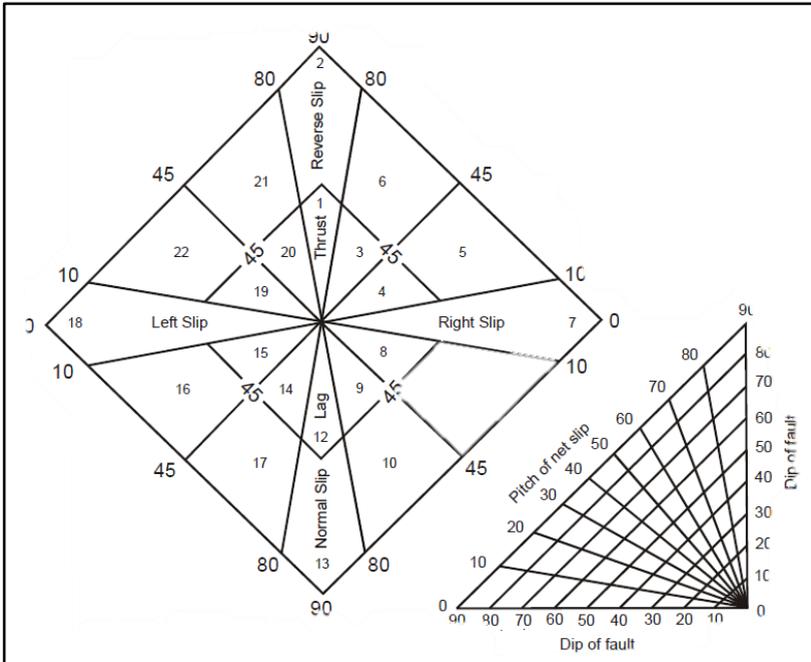
Zona patahan adalah suatu jalur penggerusan pada kondisi *brittle*. Sedangkan bila jalur penggerusan terbentuk pada daerah *ductile*, maka akan menghasilkan metamorfisme juga menghasilkan pula batuan dengan foliasi, lineasi dan lipatan. Untuk mengetahui klasifikasi sesar, maka kita harus mengenal unsur-unsur struktur (Gambar 2.6) sebagai berikut:

- a. Bidang sesar (*fault plane*) adalah suatu bidang sepanjang rekahan dalam batuan yang tergeserkan.
- b. Jurus sesar (*strike*) adalah arah dari suatu garis horizontal yang merupakan perpotongan antara bidang sesar dengan bidang horizontal.
- c. Kemiringan sesar (*dip*) adalah sudut antara bidang sesar dengan bidang horizontal dan diukur tegak lurus jurus sesar.
- d. Atap sesar (*hanging wall*) adalah blok yang terletak diatas bidang sesar apabila bidang sesarnya tidak vertikal.
- e. Kaki sesar (*Foot wall*) adalah blok yang terletak dibawah bidang sesar.
- f. Hade adalah sudut antara garis vertikal dengan bidang sesar dan merupakan penyiku dari dip sesar.
- g. *Heave* adalah komponen horizontal dari *slip/separation*, diukur pada bidang vertikal yang tegak lurus jurus sesar.
- h. *Throw* adalah komponen vertikal dari *slip/separation*, diukur pada bidang vertikal yang tegak lurus jurus sesar.
- i. *Slickensides* yaitu kenampakan pada permukaan sesar yang memperlihatkan pertumbuhan mineral-mineral fibrous yang sejajar terhadap arah pergerakan.



Gambar 2.6 Unsur-unsur Struktur Sesar (Twiss & Moore, 1992)

Klasifikasi sesar telah banyak dikemukakan oleh para ahli terdahulu, mengingat struktur sesar adalah rekahan di dalam bumi yang ditimbulkan karena pergeseran sehingga untuk membuat analisis strukturnya diusahakan untuk dapat mengetahui arah pergeseran tersebut. Mengingat arah dari net slip yang memiliki beberapa kemungkinan, pitch yang berkisar dari $0^\circ - 90^\circ$ maka Rickard (1972) membuat pengelompokkan sesar yang termasuk strike slip dan dip slip (Gambar 2.7).



Gambar 2.7 Diagram klasifikasi sesar (Rickard, 1972)

Keterangan penamaan sesar berdasarkan nomor:

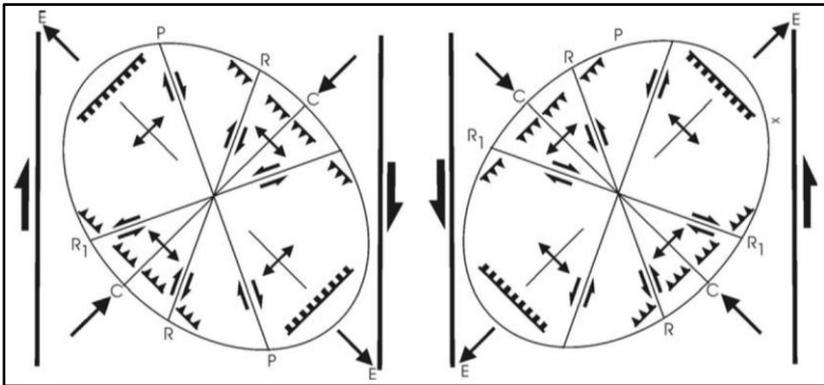
1. Sesar naik dengan dip $< 45^\circ$ (*Thrust slip fault*)
2. Sesar naik dengan dip $> 45^\circ$ (*Reverse slip fault*)
3. Sesar naik dekstral dengan dip $< 45^\circ$ (*Right thrust slip fault*)
4. Sesar dekstral naik dengan dip $< 45^\circ$ (*Thrust right slip fault*)
5. Sesar naik dekstral dengan dip $> 45^\circ$ (*Right reverse slip fault*)
6. Sesar dekstral naik dengan dip $> 45^\circ$ (*Reverse right slip fault*)
7. Sesar dekstral (*Right slip fault*)
8. Sesar dekstral normal dengan dip $< 45^\circ$ (*Lag right slip fault*)
9. Sesar normal dekstral dengan dip $< 45^\circ$ (*Right lag slip fault*)
10. Sesar normal dekstral dengan dip $> 45^\circ$ (*Right normal slip fault*)
11. Sesar dekstral normal dengan dip $> 45^\circ$ (*Normal right slip fault*)
12. Sesar normal dengan dip $< 45^\circ$ (*Lag slip fault*)
13. Sesar normal dengan dip $> 45^\circ$ (*Normal slip fault*)
14. Sesar normal sinistral dengan dip $< 45^\circ$ (*Left lag slip fault*)
15. Sesar sinistral normal dengan dip $< 45^\circ$ (*Lag left slip fault*)
16. Sesar sinistral normal dengan dip $> 45^\circ$ (*Normal left slip fault*)
17. Sesar normal sinistral dengan dip $< 45^\circ$ (*Left normal slip fault*)

18. Sesar sinistral (*Left slip fault*)
19. Sesar sinistral naik dengan dip $< 45^\circ$ (*Thrust left slip fault*)
20. Sesar naik sinistral dengan dip $< 45^\circ$ (*Left thrust slip fault*)
21. Sesar naik sinistral dengan dip $> 45^\circ$ (*Left reverse slip fault*)
22. Sesar sinistral naik dengan dip $> 45^\circ$ (*Reverse left slip fault*)

Harding, Wilcox dan Seely (1971) membuat sutau permodelan dan mendesain beberapa percobaan menggunakan adonan lempung (*clay cake*), untuk mengevaluasi pola struktur yang berkembang di atas patahan mendatar. Adonan lempung diletakkan diatas panel metal yang dapat digerakkan berlawanan arah secara bersamaan. Lingkaran-lingkaran diletakkan agar keterakannya dapat terlihat. Pergerakan awal dari patahan mendatar pada panel metal menghasilkan gangguan pada lempung yang ditunjukkan oleh perubahan lingkaran menjadi elips. Kemudian lempung mulai patah di daerah yang paralel di dalam zona pergerakan utamanya. Seiring dengan kejadian yang terus menerus, lingkaran-lingkaran ini secara perlahan terpatahkan.

Patahan-patahan atau rekahan-rekahan yang dihasilkan dari percobaan menggambarkan geometri dan kinematik dari *Riedel Shearing* atau dikenal pula dengan *simple shear* (Gambar 2.8) yaitu karakteristik hubungan geometri dari pasangan patahan mendatar, dengan kesimpulan sebagai berikut:

- a. Sesar mendatar Riedel ditandai dengan adanya sepasang *Riedel Shear* (R dan R') yang berarah 30° terhadap tegasan maksimum (σ_1). Pergerakan dalam Riedel Shear terhadap R di sebut sebagai *synthetic faults* yang relatif sejajar dengan patahan utama (*Major Faults*). R' merupakan arah berikutnya setelah terjadi R yang disebut sebagai *antithetic faults* dengan pergerakan memotong *major faults*. Dalam suatu sistem yang lain akan timbul pula *synthetic* P dan X sebagai *antithetic faults* membentuk sudut 10° terhadap patahan utama.
- b. Tegasan utama σ_1 membentuk sudut 45° terhadap *major faults*.

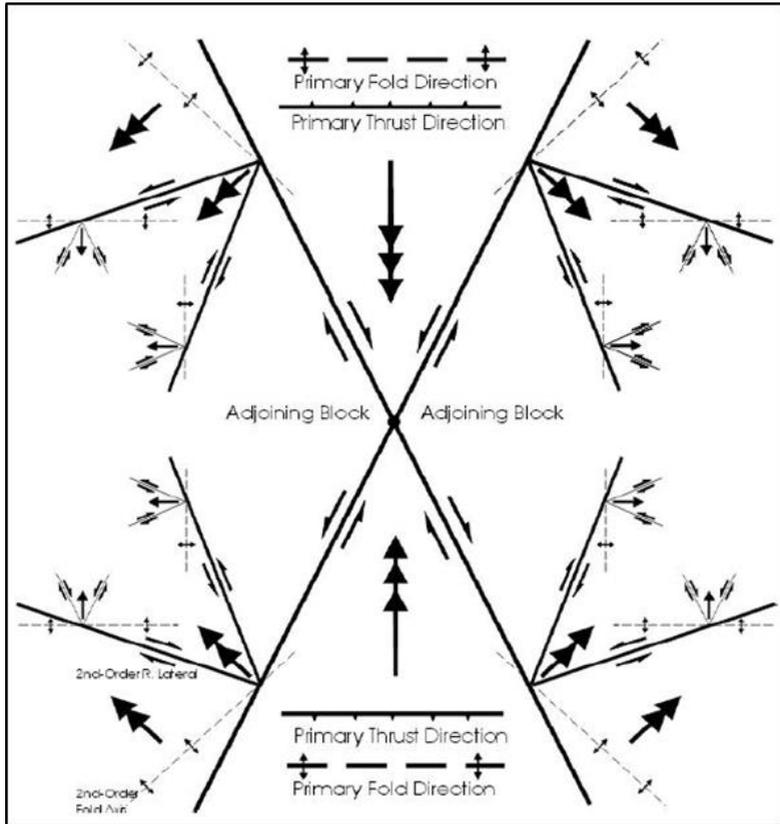


Gambar 2.8 Pemodelan *Riedel Shear* (dalam Harding dkk., 1971)

Sedangkan Moody dan Hill (1956), melakukan percobaan dan meneliti hubungan tegasan utama terhadap unsur-unsur struktur yang terbentuk maka muncul teori pemodelan sistem Sesar Mendatar Moody dan Hill atau dikenal pula dengan *pure shear* (Gambar 2.9) sebagai berikut:

- a. Jika suatu materi isotropik yang homogen dikenai oleh suatu gaya kompresi akan menggerus (*shearing*) pada sudut $\pm 30^\circ$ terhadap arah tegasan maksimum yang mengenainya. Penyimpangan maksimum dari sudut antara gaya kompresi dan bidang penggerusan adalah kurang dari 45° , hal ini diyakini akibat adanya internal friksi atau sudut geser dalam pada batuan.
- b. Suatu kompresi stres yang mengenai suatu materi isotropik yang seragam, pada umumnya dapat dipecahkan ke dalam tiga arah tegasan (sumbu tegasan maksimum, menengah dan minimum) dan salah satu dari tiga arah tegasan tersebut akan berarah vertikal.
- c. Orde ketiga dalam sistem ini arahnya akan mulai menyerupai arah orde pertama, sehingga tidak mungkin untuk membedakan orde keempat dan seterusnya dari orde pertama, kedua dan orde ketiga. Akibatnya tidak akan muncul jumlah tak terhingga dari arah tegasan. Sistem ini dipecahkan ke dalam delapan arah *shear* utama, empat antiklinal utama dan arah patahan naik untuk segala unit tektonik. Dalam kenyataan kenampakan orde pertama

dan orde kedua dapat kita bedakan dengan mudah, namun kenampakan orde ketiga dan orde-orde selanjutnya pada umumnya sulit sekali untuk ditemukan.



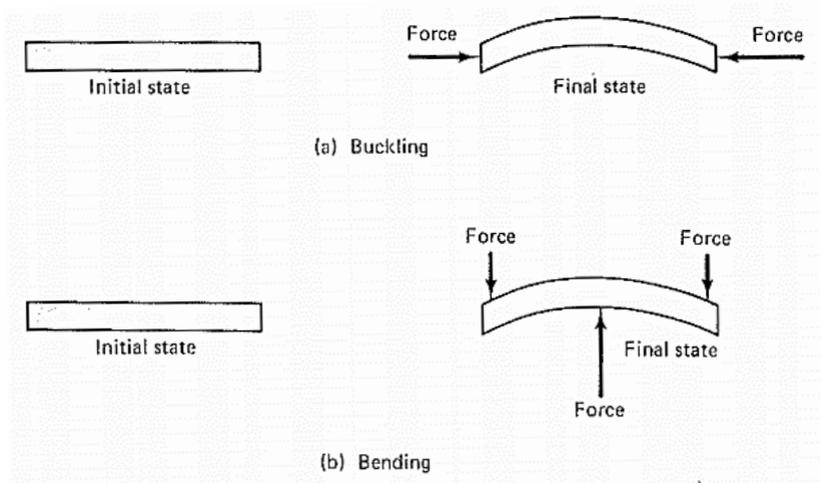
Gambar 2.9 Pemodelan Sesar Mendatar (Moody dan Hill, 1956)

Jika bidang gerus akibat *pure shear* I membentuk suatu en echelon (berjarak) sehingga membentuk koridor-koridor, maka sistem *Riedel* I atau *simple shear* I akan bekerja. Dalam koridor dimana sistem *Riedel* bekerja akan membentuk pula pola tegasan utama yang membentuk sistem *pure shear* II, demikian seterusnya sampai gaya berhenti.

2.3.3. Lipatan

Lipatan merupakan hasil perubahan bentuk dari suatu bahan yang ditunjukkan sebagai lengkungan atau kumpulan dari lengkungan pada unsur garis atau bidang di dalam bahan tersebut. Pada umumnya di dalam lipatan akan terdapat bidang perlipatan, foliasi dan liniasi. Mekanisme gaya yang menyebabkannya ada dua macam, (lihat Gambar 2.10):

- a. *Bending* (pelengkungan), disebabkan oleh gaya tekan yang arahnya tegak lurus permukaan lempeng.
- b. *Buckling* (melipat) disebabkan oleh gaya tekan yang arahnya sejajar dengan permukaan lempeng.



Gambar 2.10 Mekanisme gaya yang menyebabkan terbentuknya lipatan (a) *bending*, (b) *buckling* (Suppe, 1985)

2.3.4. Analisis Detail Geologi Struktur

Untuk memecahkan masalah-masalah geologi struktur yang kompleks digunakan metoda pemetaan detail unsur geologi struktur. Secara umum yang paling penting dalam mempelajari struktur geologi adalah geometri dari unsur struktur. Hal ini sangat penting, karena menyangkut lokasi pembentukannya, karakteristik, orientasi dan juga evolusi dari unsur-unsur struktur tersebut. Untuk lebih mengerti proses yang terjadi di bumi ini kita perlu mengerti

bagaimana proses pembentukan geometri unsur struktur tersebut, sebagai contoh adalah struktur lipatan. Sehingga berdasarkan pendekatan geometri analisa geologi struktur dapat dibagi menjadi tiga yaitu analisa deskriptif, kinematika dan dinamik.

1. Analisa deskriptif merupakan hasil langsung observasi lapangan, laboratorium untuk mendeskripsi unsur struktur seperti karakter fisik, orientasi, dll. Sehingga analisa ini sangatlah penting karena merupakan hasil pengamatan langsung dari lapangan.
2. Analisa kinematik adalah merekonstruksi pergerakan yang terjadi didalam batuan akibat proses deformasi. Analisa ini murni berdasarkan pada urutan-urutan pembentukan geometri unsur struktur tanpa didasarkan pada gaya-gaya penyebabnya. Analisa ini dikenal sebagai analisa keterakan atau strain analysis. Deformasi mengakibatkan perubahan bentuk, volume, ukuran maupun pergerakan dari batuan yang dapat dideskripsi dan dianalisa kinematikanya dari data lapangan. Tetapi bagaimana dan berapa besar gaya atau stress yang menyebabkan pembentukan struktur tersebut merupakan analisis dinamik.
3. Analisa dinamik bertujuan menginterpretasi stress pada batuan yang disebabkan oleh proses deformasi, mendiskripsi arah umum dari gaya yang menyebabkan stress dan mengevaluasi hubungan antara stress dan strain, dan kekuatan batuan.

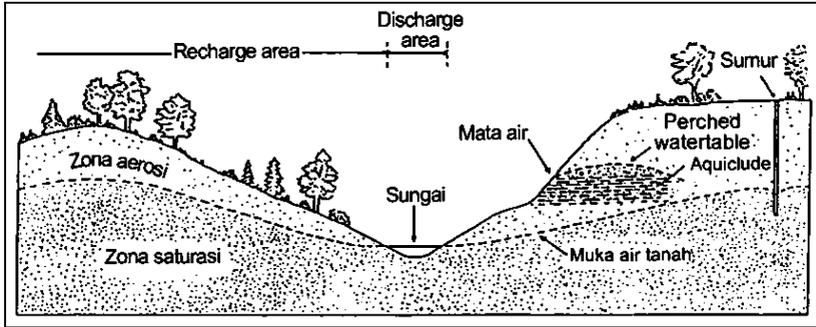
Konsep yang sangat penting dalam menginterpretasi geologi struktur melalui analisa detail adalah waktu dan skala. Baik itu dalam konteks skala waktu absolut (waktu geologi) maupun relatif. Konsep waktu sangatlah penting untuk membuat sejarah deformasi, paling tidak waktu relatif yang dapat dihasilkan dari bukti potong memotong struktur di lapangan. Contohnya perlipatan sesar A dipotong oleh sesar B kemudian terpatahkan oleh sesar C. Sehingga urutan kejadian deformasi adalah A, B, C. Konsep waktu relatif ini sangat berguna, apalagi bagi daerah-daerah yang sangat sulit untuk menentukan umur absolutnya misal kompleks batuan metamorfik.

Mempelajari sejarah deformasi kerak bumi adalah seperti pekerjaan detektif. Dimana semua bukti yang dihasilkan secara langsung maupun dengan bantuan metode lain seperti geofisika harus dianalisa yang intinya, dibandingkan atau dimodelkan baik itu

laboratorium maupun pemodelan numerik. Sehingga dari data ini bisa dihasilkan suatu interpretasi dari sejarah deformasi dan lingkungan tektonik yang paling logis dan tepat.

2.4. Pengantar Air Tanah

Air tanah dapat didefinisikan sebagai semua air yang terdapat dalam ruang batuan dasar atau *regolith* dapat juga disebut aliran yang secara alami mengalir ke permukaan tanah melalui pancaran atau rembesan (Aziz, 2000). Kebanyakan air tanah berasal dari hujan. Air hujan yang meresap ke dalam tanah menjadi bagian dari air tanah, perlahan-lahan mengalir ke laut atau mengalir langsung dalam tanah atau di permukaan dan bergabung dengan aliran sungai. Banyaknya air yang meresap ke tanah bergantung pada selain ruang dan waktu, juga di pengaruhi kecuraman lereng, kondisi material permukaan tanah dan jenis serta banyaknya vegetasi dan curah hujan. Meskipun curah hujan besar tetapi lerengnya curam, ditutupi material impermeabel, persentase air mengalir di permukaan lebih banyak daripada meresap ke bawah. Sedangkan pada curah hujan sedang, pada lereng landai dan permukaannya permeabel, persentase air yang meresap lebih banyak. Sebagian air yang meresap tidak bergerak jauh karena tertahan oleh daya tarik molekuler sebagai lapisan pada butiran-butiran tanah. Sebagian menguap lagi ke atmosfer dan sisanya merupakan cadangan bagi tumbuhan selama belum ada hujan. 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 air tanah (*water table*). Lapisan tanah, sedimen atau batuan di atasnya yang tidak jenuh air disebut zona aerasi (*zone of aeration*). Muka air tanah umumnya tidak horisontal, tetapi lebih kurang mengikuti permukaan topografi di atasnya. Apabila tidak ada hujan maka muka air di bawah bukit akan menurun perlahan-lahan sampai sejajar dengan lembah. Namun hal ini tidak terjadi, karena hujan akan mengisi (*recharge*) lagi. Daerah dimana air hujan meresap kebawah (*precipitation*) sampai zona saturasi dinamakan daerah rembesan atau *recharge area* dan daerah dimana air tanah keluar dinamakan *discharge area* (lihat Gambar 2.11)



Gambar 2.11 Diagram memperlihatkan posisi relatif beberapa istilah yang berkaitan dengan air bawah permukaan (Fetter, 1994)

Air tanah berasal dari bermacam sumber. Air tanah yang berasal dari peresapan air permukaan disebut air meteorik (*meteoric water*). Selain berasal dari air permukaan, air tanah dapat juga berasal dari air yang terjebak pada waktu pembentukan batuan sedimen. Air tanah jenis ini disebut air konat (*connate water*). Aktivitas magma di dalam bumi dapat membentuk air tanah, karena adanya unsur hydrogen dan oksigen yang menyusun magma. Air tanah yang berasal dari aktivitas magma ini disebut dengan air juvenil (*juvenile water*). Dari ketiga sumber air tanah tersebut air meteorik merupakan sumber air tanah terbesar.

Air tanah di temukan pada formasi geologi permeabel (tembus air) yang dikenal sebagai akuifer (juga disebut reservoir air tanah, fomasi pengikat air, dasar-dasar yang tembus air) yang merupakan formasi pengikat air yang memungkinkan jumlah air yang cukup besar untuk bergerak melaluinya pada kondisi lapangan yang biasa. Air tanah juga di temukan pada akiklud (atau dasar semi permeabel) yaitu suatu formasi yang berisi air tetapi tidak dapat memindahkannya dengan cukup cepat untuk melengkapi persediaan yang berarti pada sumur atau mata air. Deposit glasial pasir dan kerikil, kipas aluvial dataran banjir dan deposit delta pasir semuanya merupakan sumber-sumber air yang sangat baik.

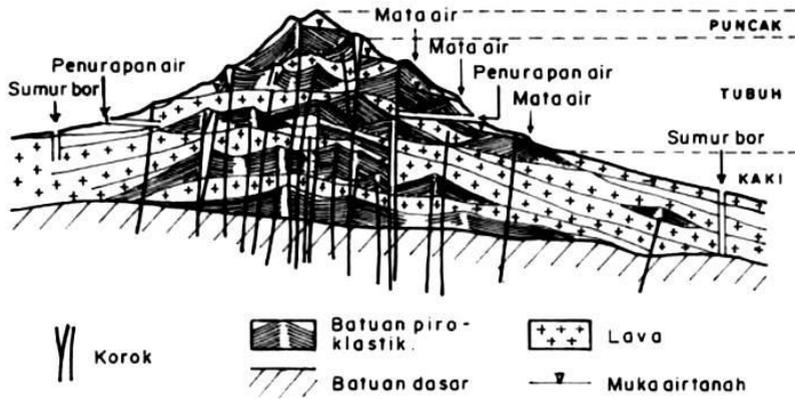
2.4.1. Tipologi Sistem Akuifer

Kondisi alami dan distribusi akuifer, aquilude dan aquitard dalam sistem geologi dikendalikan oleh litologi, stratigrafi dan

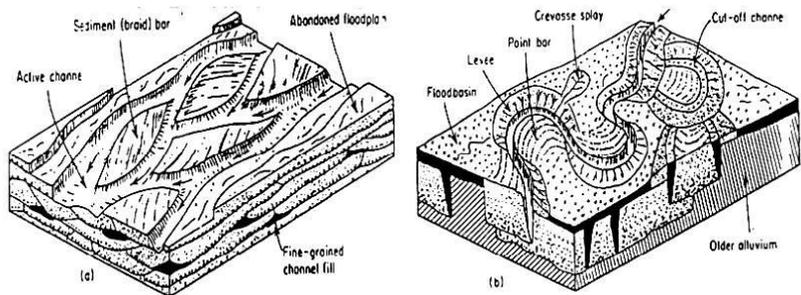
struktur geologi dari material endapan geologi dan formasi (Freeze dan Cheery, 1979 dalam J. Kodoatie, 1996). Selanjutnya dijelaskan litologi merupakan susunan fisik dan endapan geologi. Susunan ini termasuk komposisi mineral, ukuran butir dan kumpulan butir yang terbentuk dari sedimentasi atau batuan yang menampilkan sistem geologi. Stratigrafi menjelaskan hubungan geometri dan umur antara macam-macam lensa, dasar dan formasi dalam sistem geologi dari asal terjadinya sedimentasi. Bentuk struktur sendiri diantaranya pecahan (*cleavages*), retakan (*fracture*), lipatan (*folds*) dan patahan (*fault*), merupakan sifat-sifat geometri dari sistem geologi yang dihasilkan oleh perubahan bentuk (deformasi) akibat adanya proses pengendapan (*deposition*) dan proses kristalisasi (*crystallization*) dari batuan. Pada endapan yang belum terkonsolidasi (*unconsolidated deposits*) litologi dan stratigrafi merupakan pengendali yang paling penting.

Menurut Juanda D. (2012) kesamaan iklim dan kondisi geologi di suatu daerah akan memberikan kesamaan sistem air tanah. Kondisi ini akan berpengaruh terhadap karakter fisika dan kimia serta kualitas air tanah dalam sistem tersebut. Berdasarkan kondisi geografis serta morfologis keberadaan dan penyebaran air tanah di Indonesia, S. Mandel (1981) dan Puradimaja (1993) dalam Juanda D. (2012) dapat dibedakan menjadi 5 Tipologi Sistem Akuifer (Gambar 2.12 - Gambar 2.15), yaitu :

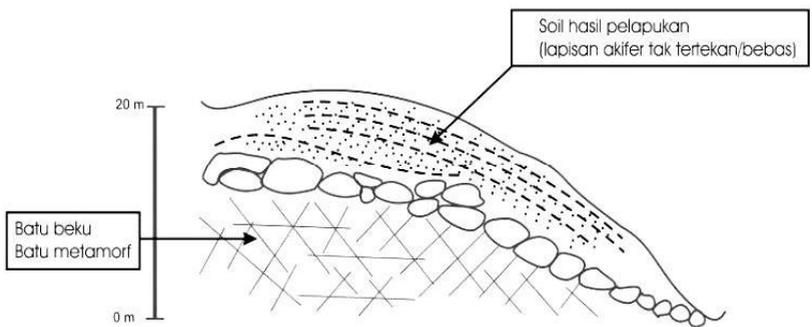
- a. Tipologi Sistem Akuifer Endapan Gunungapi
- b. Tipologi Sistem Akuifer Endapan Aluvial
- c. Tipologi Sistem Akuifer Batuan Sedimen
- d. Tipologi Sistem Akuifer Batuan Kristalin
- e. Tipologi Sistem Akuifer Endapan Glasial.



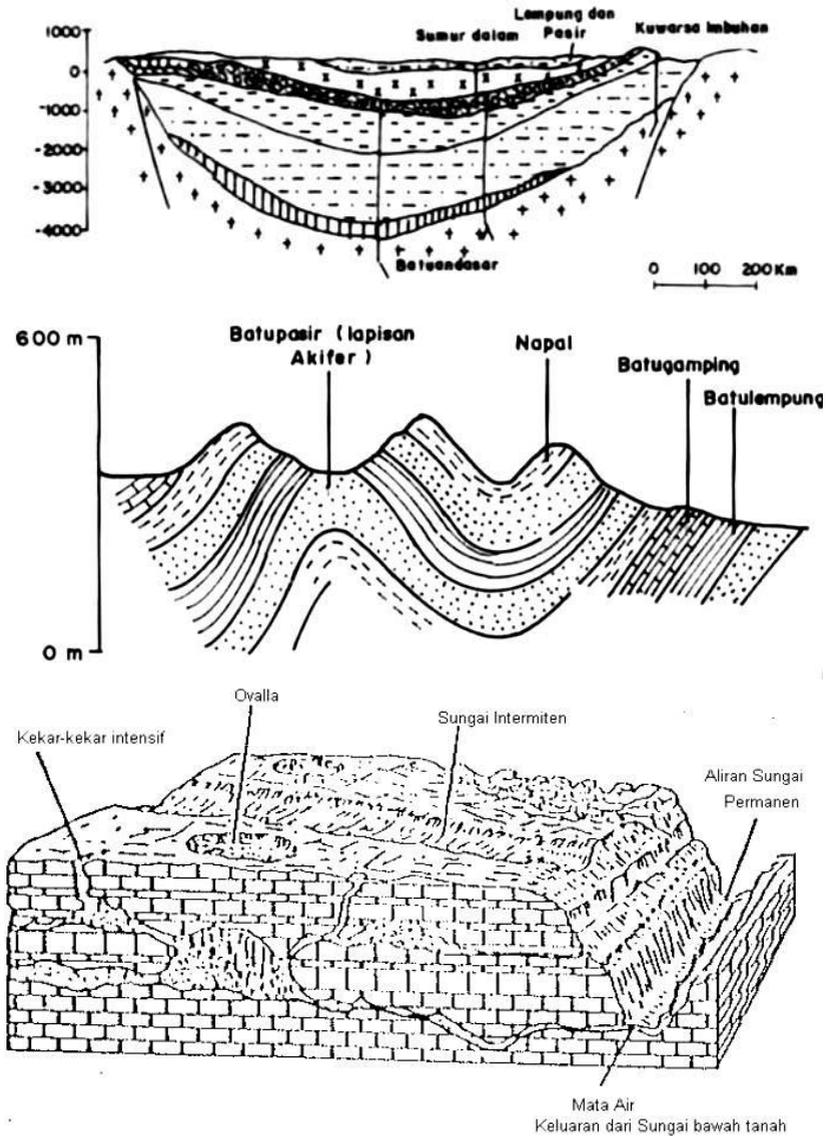
Gambar 2.12 Model tipologi akuifer endapan gunungapi (S. Mandel, 1981 dan Puradimaja, 1993 dalam Juanda D., 2012)



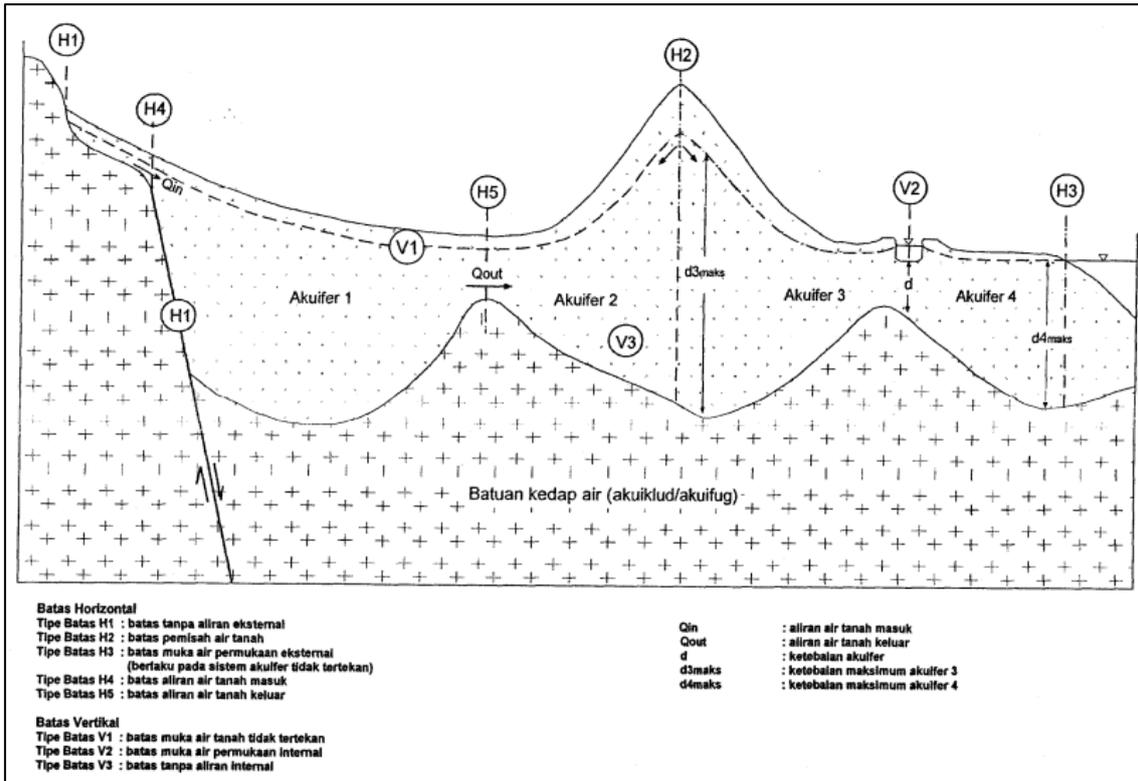
Gambar 2.13 Model tipologi akuifer endapan aluvial (S. Mandel, 1981 dan Puradimaja, 1993 dalam Juanda D., 2012)



Gambar 2.14 Model tipologi akuifer batuan kristalin (S. Mandel, 1981 dan Puradimaja, 1993 dalam Juanda D., 2012)



Gambar 2.15 Model tipologi akuifer batuan sedimen terlipat dan sedimen karbonat (S. Mandel, 1981 dan Puradimaja, 1993 dalam Juanda D., 2012)



Gambar 2.16 Tipe batas cekungan air tanah pada geometri akuifer (Permen ESDM No.13 tahun 2009)

2.4.2. Geometri Akuifer

Air tanah mengalir dalam lapisan pembawa air (akuifer) yang dibatasi oleh batas hidrogeologi berupa batuan, patahan, lipatan atau tubuh air permukaan. Batas – batas ini menentukan tiga elemen penting dalam anatomi cekungan hidrogeologi, yaitu kawasan imbuhan (*recharge area*), kawasan aliran (*flowing area*) dan kawasan luahan (*discharge area*).

Berkaitan dengan geometri dan konfigurasi akuifer, Zeffitni (2011) menjelaskan bahwa batasan bahwa penentuan batas lateral dan vertikal cekungan air tanah akan menunjukkan geometri cekungan air tanah. Penentuan batas lateral dan vertikal akuifer maupun non akuifer menunjukkan konfigurasi sistem akuifer. Tinjauan terhadap air tanah memiliki cakupan yang cukup luas, diantaranya: jenis akuifer, parameter akuifer yang menunjukkan karakteristik akuifer, maupun pemanfaatan serta kualitasnya. Informasi geologi diantaranya: penampang (*cross section*) geologi, log pemboran dan sumur yang dikombinasi dengan informasi hidrogeologi akan menunjukkan unit hidrostratigrafi cekungan air tanah. Penampang (*cross section*) geologi dapat menunjukkan formasi geologi, unit stratigrafi, bidang piezometrik, kandungan kimia air dan korelasi formasi dari log pemboran dari beberapa sumur.

Berkaitan dengan konsep batas cekungan, cekungan air tanah mempunyai batas baik pada arah lateral maupun vertikal yang menunjukkan geometri dan konfigurasi sistem akuifer (Gambar 2.16) yang diatur dalam Peraturan Menteri ESDM No.13 tahun 2009, antara lain:

1. Batas Tanpa Aliran (*Zero-flow Boundaries/Noflow Boundaries*)

Batas tanpa aliran merupakan batas cekungan air tanah, pada batas tersebut tidak terjadi aliran air tanah atau alirannya tidak berarti jika dibandingkan dengan aliran pada akuifer utama. Batas tanpa aliran dibedakan menjadi tiga tipe: batas tanpa aliran eksternal (*external zero-flow boundary*), batas tanpa aliran internal (*internal zero-flow boundary*), dan batas pemisah air tanah (*groundwater divide*).

2. Batas Muka Air Permukaan (*Head Controlled Boundaries*)

Batas muka air permukaan merupakan batas cekungan air tanah, pada batas tersebut diketahui tekanan hidrauliknya. Batas muka air permukaan terdiri atas: batas muka air permukaan eksternal (*external head-controlled boundary*), dan batas muka air permukaan internal (*internal head-controlled boundary*).

3. Batas Aliran Air tanah (*Flow Controlled Boundaries*)

Batas aliran air tanah atau batas imbuhan air tanah (*recharge boundary*) merupakan batas cekungan air tanah. Berdasarkan arah alirannya, batas aliran air tanah dibedakan menjadi dua jenis, yaitu: batas aliran air tanah masuk (*inflow boundary*) dan batas aliran air tanah keluar (*outflow boundary*). Batas aliran air tanah ini ditetapkan sebagai batas cekungan air tanah pada arah lateral.

4. Batas Muka Air tanah Bebas (*Free Surface Boundary*)

Batas muka air tanah bebas merupakan batas cekungan air tanah, pada batas tersebut diketahui tekanan hidrauliknya sebesar tekanan udara luar. Muka air tanah bebas atau muka freatik, merupakan batas vertikal bagian atas cekungan air tanah.

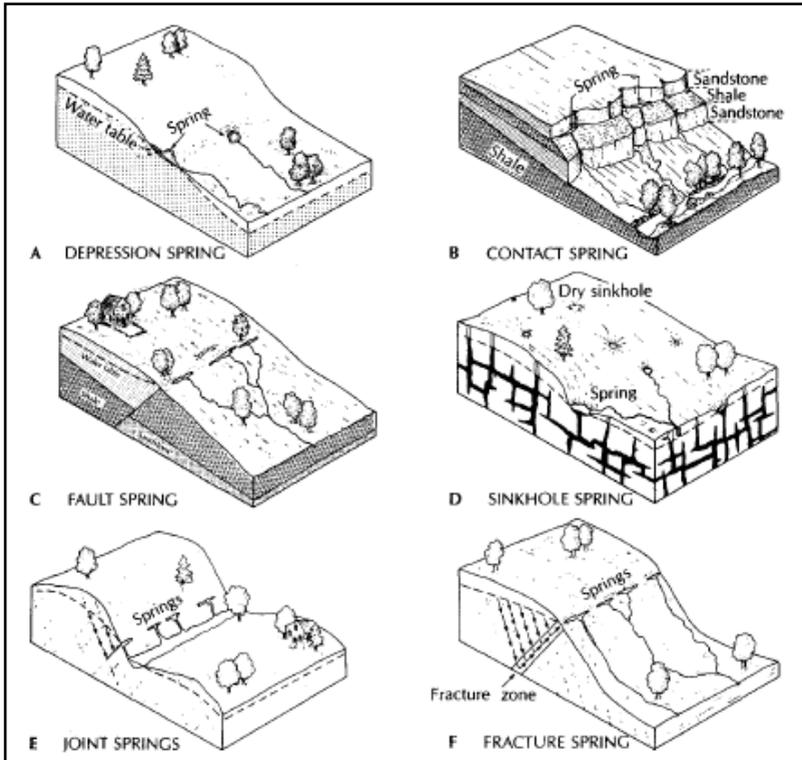
2.4.3. Mata Air

Pengamatan karakteristik air tanah dapat dilakukan berdasarkan pengamatan pada lokasi kemunculannya di permukaan. Secara alami kemunculannya di permukaan berupa suatu mata air. Pengamatan lainnya dapat dilakukan berdasarkan pengamatan muka air tanah di sumur/lubang bor.

Menurut Fetter (1994), jenis mata air dapat didasarkan pada kontrol geologi baik struktur maupun litologi serta topografi (Gambar 2.17) yaitu:

1. *Depression Spring* (Mata Air Depresi), yaitu mata air yang disebabkan karena permukaan tanah memotong muka air tanah (*water table*).
2. *Contact Springs* (Mata Air Kontak), yaitu mata air akibat kontak antara lapisan akuifer dengan lapisan impermeabel pada bagian bawahnya.
3. *Fracture Artesian Springs* (Mata Air Rekahan), yaitu mata air yang dihasilkan oleh akuifer tertekan yang terpotong oleh struktur impermeabel.

4. *Sinkhole Springs* (Mata Air Sinkhole), yaitu mata air yang terjadi akibat pelarutan batuan oleh air tanah.
5. *Fault Springs* (Mata Air Patahan), yaitu mata air yang terjadi akibat adanya struktur patahan pada suatu lapisan akuifer tertekan.
6. *Joint Springs* (Mata Air Kekar), yaitu mata air yang dihasilkan dari celah-celah kekar pada suatu lapisan akuifer tertekan



Gambar 2.17 Jenis-jenis mata air didasarkan kontrol geologi dan topografi (Fetter, 1994)

2.4.4. Daerah Terdapatnya Air Tanah

Terdapatnya akuifer di alam berdasarkan material penyusunnya dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Material Lepas

Terdapatnya air tanah pada material lepas berdasarkan daerah pembentuknya dibedakan menjadi 4 yaitu:

a. Daerah Dataran

Daerah dataran yang dimaksud berupa dataran yang luas dengan endapan yang belum mengeras seperti pasir dan kerikil. Pengisian (recharge) pada umumnya diperoleh dari air hujan atau sungai, sebagai contoh: dataran pantai.

b. Daerah Aluvial (Daerah Aliran Sungai)

Volume air tanah dalam didaerah aluvial ditentukan oleh tebal, penyebaran dan permeabilitas akuifer. Bila muka air disekitar daerah aluvial lebih tinggi dari muka air tanah, maka potensi air tanahnya cukup besar. Air tanah pada daerah aluvial dapat dibagi menjadi tiga macam (Takeda dan Sosrodarsono, 1976), antara lain:

❖ Air Tanah Susupan, merupakan air tanah yang mengendap di dataran banjir ditambah langsung dari peresapan sungai. Titik permulaan peresapan air sungai dapat diperkirakan dari garis kontur permukaan air tanah. Makin panjang jaraknya dari titik permukaan, biasanya makin kecil tahanan listriknnya, karena makin panjang penyusupan itu, makin banyak bahan-bahan lisrik yang larut dalam air tanah.

❖ Air Tanah Yang Dalam, berupa lapisan alluvium dan diluvium yang diendapkan setebal seratus sampai beberapa ratus meter di dataran alluvium yang berganti-ganti dari lapisan pasir dan krikil, lapisan loam dan lapisan lempung.

❖ Air Tanah Sepanjang Pantai, dipengaruhi oleh pasang surut air laut, bila muka air laut pasang maka air tanah yang tersedia akan banyak.

c. Daerah Lembah Mati

Daerah lembah mati merupakan suatu lembah yang tidak dilewati sungai. Potensi air tanahnya cukup besar akan tetapi suplai air yang diterima tidak sebesar daerah aliran air.

d. Daerah Lembah Antar Gunung, daerah lembah antar gunung merupakan daerah lembah yang dikelilingi oleh pegunungan biasanya terdiri dari material lepas dalam jumlah yang sangat

besar. Materialnya berupa pasir dan kerikil yang akan menerima air dari pengisian.

2. Material Kompak

Sedangkan beberapa material kompak yang mempunyai potensi air tanah cukup besar (Suharyadi, 1984), antara lain:

a. Batugamping

Batugamping apabila dalam keadaan kompak tidak dapat bertindak sebagai akuifer, tetapi apabila memiliki banyak retakan, lubang diantara retakan tersebut dapat juga memungkinkan untuk bertindak sebagai akuifer. Dalam hal ini jenis batu gamping sangat menentukan disamping topografinya.

b. Batuan Beku Dalam

Batuan beku dalam tidak termasuk sebagai akuifer yang baik, akan tetapi bisa mengandung air tanah jika memiliki banyak rekahan-rekahan didalamnya.

c. Batuan Vulkanik

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

BAB 3

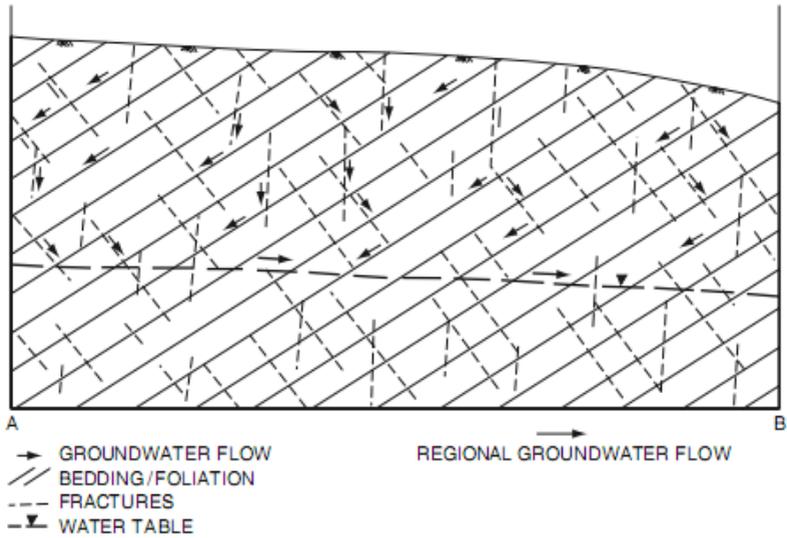
APLIKASI STRUKTUR GEOLOGI DALAM MENGETAHUI KONDISI HIDROGEOLOGI

3.1. Kekar, Sesar dan Bidang Diskontinuitas

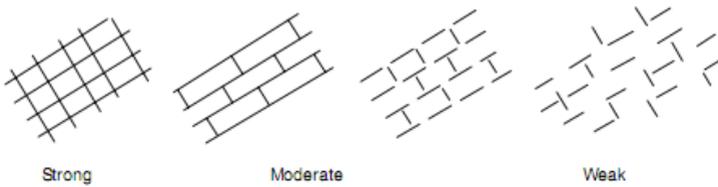
Aspek hidrogeologi menempatkan rekahan dan bidang diskontinuitas merupakan hal paling penting dalam aspek struktur geologi. Rekahan dan bidang diskontinuitas pada batuan berfungsi sebagai tempat penyimpanan fluida sebagai porositas sekunder. Beberapa bidang diskontinuitas seperti sesar dan intrusi jenis *dyke* juga dapat berperan sebagai tanggul atau penghambat aliran air tanah. Porositas, permeabilitas dan karakteristik aliran air tanah pada rekahan dari aspek kuantitatif kurang dipahami. Arah aliran utama dalam rekahan yaitu sepanjang zona kekar, zona sesar dan zona bidang diskontinuitas. Sejumlah faktor pengontrol aliran air tanah pada rekahan yaitu tekanan, suhu, kekasaran, geometri dan lain lain. Konduktivitas hidrolis pada rekahan berbanding terbalik dengan tekanan normal yang banyak dipengaruhi oleh kedalaman. Nilai permeabilitas dapat menurun karena peningkatan suhu akibat kedalaman, sementasi, umur dan tingkat pelapukan. Panjang rekahan akan meningkatkan massa jenis dan konduktivitas hidrolisnya. Pemahaman struktur geologi pada akuifer penting untuk menggambarkan massa batuan dan mengukur pola serta sifat bidang diskontinuitas. Bidang diskontinuitas yang paling banyak berpengaruh yaitu bidang perlapisan dan bidang foliasi yang terdapat pada batuan sedimen dan beberapa batuan metamorf seperti batupasir, batulanau, serpih dan lain lain kecuali pada batupasir dan batugamping yang *massive*. Bidang perlapisan memiliki pengaruh besar terutama pada aliran air tanah pada *vadose zone* (Gambar 3.1).

Salah satu aspek pengontrol pada rekahan yang perlu dikaji yaitu dimensi dan karakteristik rekahan (Gambar 3.2). Titik-titik perpotongan dari pertemuan bidang diskontinuitas dan rekahan penting dikaji keran aliran air tanah yang dikontrol oleh beberapa sistem bidang tersebut. Hubungan antar rekahan akan semakin meningkat ketika panjang rekahan dan kepadatan (*space*) dari rekahan tersebut meningkat. Karakteristik rekahan juga mempengaruhi peningkatan ataupun penurunan nilai porositas dan permeabilitas. Batuan akan memiliki permeabilitas yang baik ketika

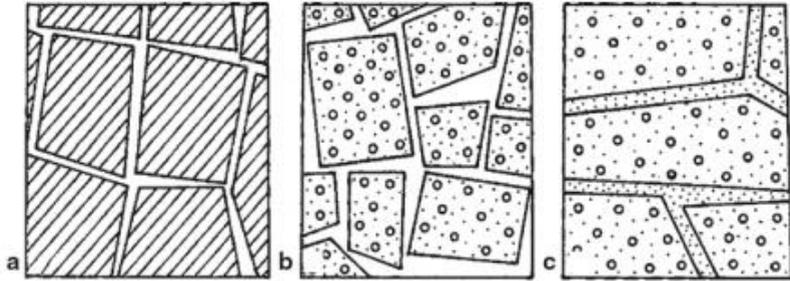
memiliki rekahan terbuka yang tidak terisi oleh material batuan akibat pelapukan ataupun mineral lempung seperti smectit dan montmorillonite. Berdasarkan porositas dan permeabilitas pada rekahan dan litologi, dapat diklasifikasikan menjadi tiga (Gambar 3.3) antara lain : (a) *purely fractured*, (b) *double porosity* dan (c) *heterogenous*. Pada tipe *purely fractured*, porositas dan permeabilitas dikontrol oleh porositas sekunder akibat rekahan yang saling berhubungan. Pada tipe *double porosity*, porositas yang berkembang yaitu porositas rekahan dan butiran. Sedangkan pada tipe *heterogenous*, yaitu ketika rekahan terisi mineral lempung sehingga mengurangi nilai permeabilitas.



Gambar 3.1 Tipe permodelan aliran air tanah pada batuan terkekarkan (Singhal, 2010)



Gambar 3.2 Intensitas kepadatan kekar (Singhal, 2010)



Gambar 3.3 Skema yang merepresentasikan tipe porositas akibat rekahan dan litologi (Singhal, 2010) : (a) *purely fractured*, (b) *double porosity* dan (c) *heterogenous*



Gambar 3.4 Jenis rekahan di Desa Guyangan, Kecamatan Gedangsari, Kab. Gunungkidul: (A, B) zona sesar dengan intensitas kepadatan kekar *strong*, (C, D) kekar terisi mineral tipe *heterogenous*

Salah satu pengontrol persebaran kekar sistematis yaitu adalah struktur sesar, dengan zona yang disebut dengan zona sesar (*shear zone*), berkembang kekar-kekar penyerta sesar baik kekar gerus dan tarik dengan intensitas yang cukup tinggi. Sehingga kekar tersebut dapat mengakumulasi air tanah yang setempat.

Seperti yang telah dibahas sebelumnya, bahwa karakteristik rekahan juga mempengaruhi peningkatan ataupun penurunan nilai porositas dan permeabilitas. Batuan dengan rekahan tertutup tidak akan mengakumulasi air tanah di daerah tersebut, seperti yang ditemukan pada Sesar Guyangan yang membentuk rekahan yang tertutup dan terisi oleh mineral sekunder (Gambar 3.4).

Karakteristik rekahan yang meningkatkan nilai porositas dan permeabilitas akibat akumulasi rekahan yang tinggi dan jenis rekahan yang terbuka akan mengakumulasi air tanah dicirikan dengan rembesan-rembesan air yang keluar sebagai mata air (Gambar 3.5) seperti yang ditemukan di lokasi Sesar Jurangjero pada Kecamatan Nglipar.

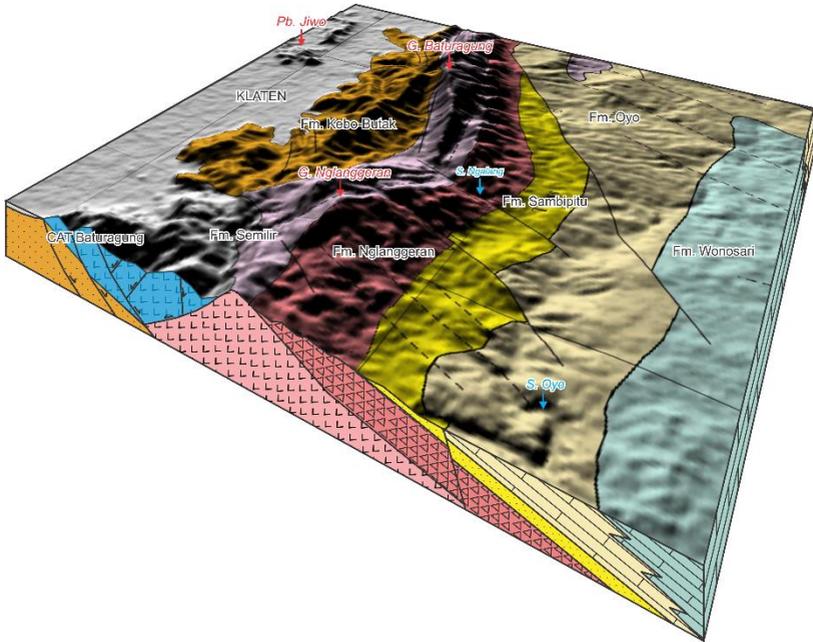


Gambar 3.5 Jenis rekahan di Desa Jurangjero, Kecamatan Nglipar, Kabupaten Gunungkidul: (A, B, C) zona sesar dengan intensitas kepadatan kekar *strong*; (D, E) kekar dengan intensitas kepadatan *strong*

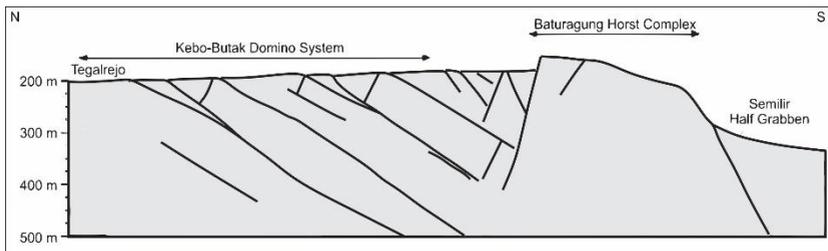
3.2. Tipologi Sistem Akuifer

Pengertian mengenai geometri keterdapatan air tanah di bawah permukaan, merupakan hal yang mutlak diketahui. Dengan memahami geometri akuifer, maka permasalahan mengenai karakteristik dan sifat air tanah akan lebih mudah untuk dijelaskan. Pendekatan yang digunakan meliputi berbagai aspek kimia fisika di alam. Kondisi dan distribusi sistem akuifer dalam sistem geologi dikontrol oleh faktor litologi, stratigrafi dan struktur dari endapan-endapan geologi. Litologi adalah penyusun secara fisik meliputi komposisi mineral, ukuran butir dan kemas dari endapan-endapan atau batuan yang membentuk sistem geologi. Stratigrafi menggambarkan kondisi geometri dan hubungan umur antar lapisan atau satuan batuan dalam sistem geologi. Sedangkan struktur geologi merupakan bentuk/sifat geometri dari sistem geologi yang diakibatkan deformasi yang terjadi setelah batuan terbentuk. Pada sedimen yang belum terkonsolidasi/kompak, kontrol yang berperan adalah litologi dan stratigrafi. Pengetahuan akan ketiga faktor di atas memberikan arahan kepada pemahaman karakteristik dan distribusi sistem akuifer (Freeze dan Cherry, 1979).

Potensi air tanah di daerah dengan kondisi batuan terkompaksi dengan baik hingga memiliki porositas yang kecil umumnya kecil mengingat batuan penyusunnya berupa batuan yang bersifat kedap air. Batupasir jika ada umumnya berupa sisipan dan sangat kompak karena berumur tua dan telah mengalami proses tektonik kuat, sehingga sedikit kemungkinan lapisan batupasir tua ini dapat bertindak sebagai akuifer yang baik begitu pula dengan breksi. Air tanah di daerah ini umumnya mengikuti pola struktur yang berkembang yang mengontrol gejala geomorfologi pula berupa lembah-lembah sesar yang dihasilkan dari struktur tersebut, seperti kondisi yang ditemukan pada Kecamatan Nglipar dan Gedangsari yang terbentuk akibat suatu sistem-sistem sesar yang berkembang dari utara hingga selatan secara berbeda-beda (Gambar 3.6 dan Gambar 3.7).



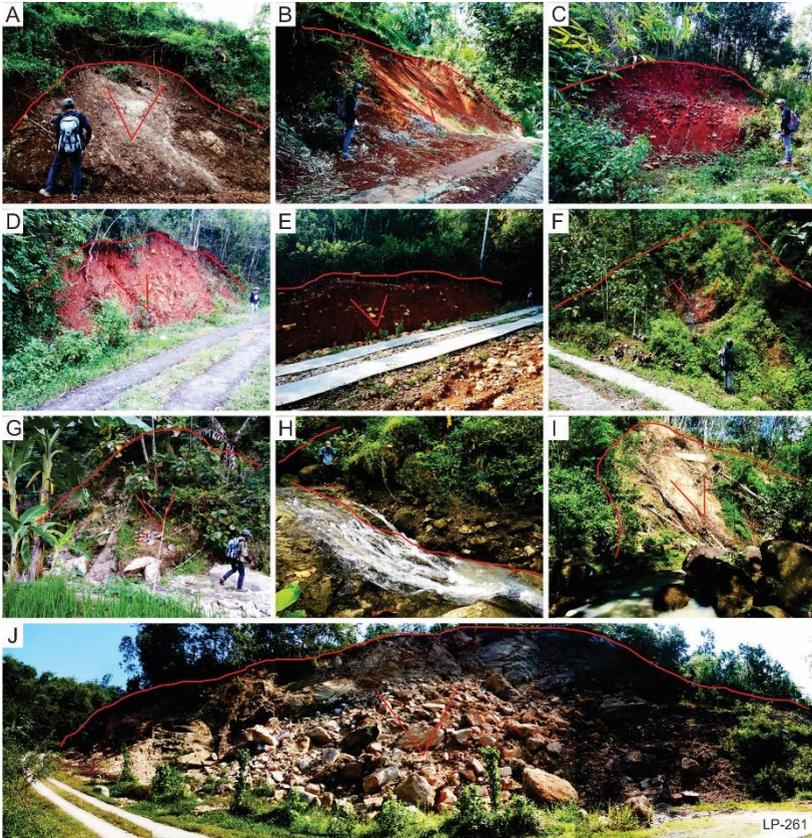
Gambar 3.6 Diagram blok 3D akuifer yang dikontrol gejala geologi pada Kecamatan Gedangsari, Kabupaten Gunungkidul



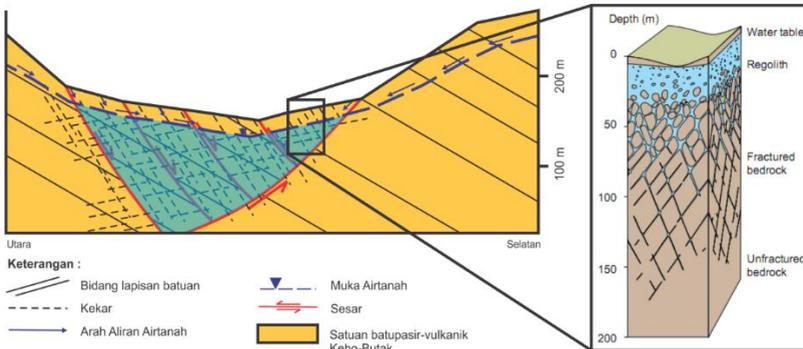
Gambar 3.7 Penampang ideal Baturagung menunjukkan system *half-graben*, dengan sistem domino Kebo-Butak berada pada bagian utara, horst Baturagung pada bagian tengah dan Semilir *half-graben* pada bagian selatan (modifikasi A. Rodhi dkk., 2016)

Pegunungan dengan batuan sedimen masif berupa breksi dan batuan gunungapi berumur Tersier tersingkap di Pegunungan Baturagung. Sedangkan pada batuan kristalin yang memiliki tipe karakteristik yang sama, dijumpai di Perbukitan Djiwo pada umumnya terdiri dari batuan metamorfosa dan kristalin seperti filit dan sekis, dan batuan beku kristalin. Melihat jenis batumannya, potensi air di daerah ini sangatlah kecil karena sifat batumannya yang umumnya kompak, padat dan keras sehingga kurang meneruskan air (impermeabel).

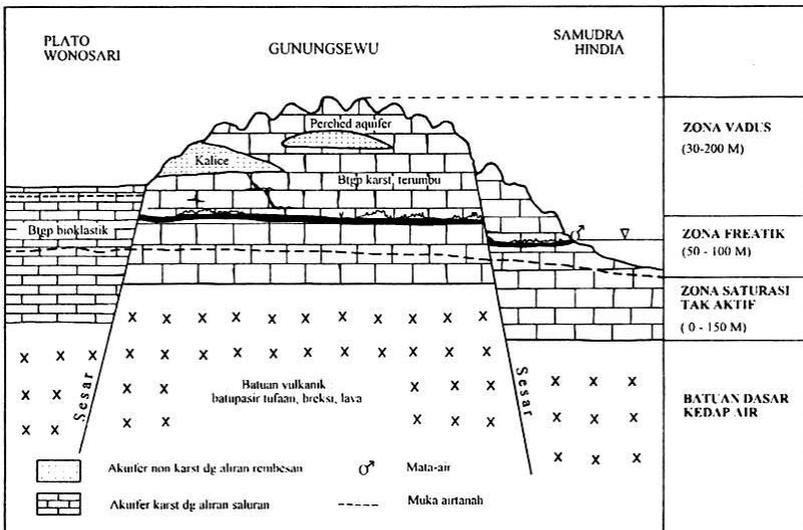
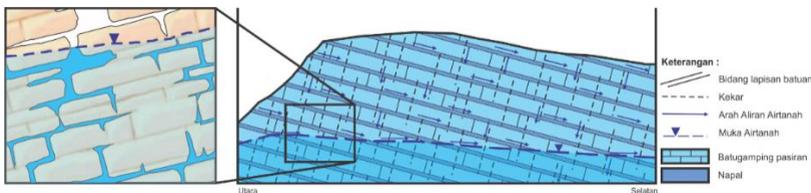
Morfologi pegunungan Tersier tersebut umumnya berbukit cukup terjal, sehingga kecil sekali kesempatan air tanah untuk berakumulasi, dan dengan demikian kecil sekali kemungkinan munculnya mataair, ataupun jika ada hanya berupa rembasan dengan debit kecil. Air tanah dalam jumlah terbatas, berupa air tanah dangkal dapat dijumpai pada endapan-endapan kipas lerengnya, *colloidal*, atau pada soil hasil pelapukan batuan dasar (Gambar 3.8). Dapat pula pada batuan dasarnya dikontrol oleh sistem retakan dan rekahan intensif (Gambar 3.9).



Gambar 3.8 Longsor, *collovia* dan soil hasil pelapukan batuan dasar di Kecamatan Gedangsari, Kabupaten Gunungkidul



Gambar 3.9 Permodelan akuifer rekahan pada batuan Tersier di Perbukitan Baturagung (gambar kanan menurut Hamblin, 2009)



Gambar 3.10 Permodelan rekahan dan antar butir pada batuan Karbonat Formasi Oyo dan Formasi Wonosari (gambar kiri atas menurut Hamblin, 2009, gambar bawah menurut Bahagiarti, 2004)

Selain itu sistem akuifer batuan karbonat/batugamping hasil dari proses kartifikasi dijumpai pada selatan dari Perbukitan Baturagung, Kabupaten Gunungkidul. Daerah pegunungan yang batuanannya terdiri dari batugamping dan memperlihatkan morfologi yang khas berupa kumpulan bukit-bukit membulat serta kehadiran sungai-sungai bawah tanah disebut sebagai Gunungsewu. Pada dasarnya, karena merupakan batuan yang kompak, batugamping bersifat impermeabel. Adanya sistem rekahan atau rongga-rongga pelarutan di dalamnya, menyebabkan batugamping dapat bertindak sebagai akuifer yang cukup baik tetapi tinjauan hidrogeologinya berlainan dengan daerah air tanah pada media porous.

Batugamping mempunyai sifat yang khas yaitu dapat melarut dalam air sehingga dengan adanya sifat ini porositas pada batugamping berupa porositas sekunder atau rekahan. Dengan adanya kondisi ini, penyaluran bawah permukaan umumnya lebih menonjol dibandingkan penyaluran air permukaan. Maka, jarang sekali ditemukan sungai yang berair terus sepanjang tahun, karena air lebih banyak mengalir sebagai aliran bawah permukaan melalui sistem rongga-rongga pelarut yang bercabang-cabang dan bertingkat-tingkat sesuai dengan sejarah pelarutan batugamping yang akhirnya dapat membentuk suatu jaringan sistem aliran sungai bawah tanah.

Walaupun Formasi Oyo merupakan batugamping pasiran yang masih memiliki material gunungapi, dan dengan morfologi yang tidak mencirikan suatu morfologi perbukitan karst seperti yang ada di Gunungsewu, tetapi masih memiliki kesamaan dengan Formasi Wonosari yang membentuk Plato Wonosari di Kecamatan Wonosari. Ke dua formasi tersebut masih memiliki sifat pelarutan yang tinggi karena pada dasarnya masih merupakan jenis batugamping dengan kandungan karbonat yang tinggi. Walaupun sistem pelarutan berbeda yaitu banyak dipengaruhi oleh pelarutan pada lapisan batuan antara litologi batugamping terhadap napal (Gambar 3.10).

3.3. Pemetaan Hidrogeologi

Pemetaan hidrogeologi merupakan pekerjaan lapangan yang dilakukan guna menyusun kerangka hasil dalam penentuan jenis sistem air tanah di suatu lokasi. Meliputi pengamatan mata air

(dilakukan dengan mencatat koordinat lokasi dan mendeskripsi kondisi geologi, jenis, dan debit mata air), pengamatan sumur gali (dilakukan dengan mencatat koordinat lokasi, kedalaman atau elevasi muka air tanah, informasi keadaan air pada musim kemarau) dan pengamatan sumur bor (dilakukan dengan mencatat koordinat lokasi, kedalaman, diameter, posisi saringan, muka air tanah, dan debit pengambilan air tanah).

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pemetaan hidrogeologi yaitu pengkajian kondisi geologi terlebih dahulu karena berkaitan erat dengan hubungan diantara keduanya. Penelitian kondisi geologi baik kondisi geomorfologi, stratigrafi dan stuktur geologi yang ada, guna menentukan peran batuan yang bertindak sebagai akuifer, akuitard, akuiklud dan akufug. Pemetaan hidrogeologi ini bertujuan dalam penentuan pola dan arah air aliran tanah. Analisis muka air tanah dilakukan untuk mengetahui arah aliran air tanah bebas dengan aspek-aspek pengontrolnya baik morfologi, litologi, struktur geologi maupun jenis sungai yang dianalisis berdasarkan data elevasi muka air tanah pada sumur gali, sumur bor, geolistrik maupun mata air.

Selain itu pemetaan hidrogeologi yaitu berperan dalam penentuan tipe batas cekungan air tanah, khususnya batas lateral cekungan air tanah, dan batas vertikal atau batuan yang berfungsi sebagai batuan dasar cekungan (basement) air tanah.

Berdasarkan posisi stratigrafinya, variasi posisi dari akuifer, akuitard, akuifug dan akuiklud ditunjang pula dengan sifat-sifat fisik lainnya maka dapat ditentukan berbagai jenis akuifer yang akan menentukan pembagian air tanah dalam pemetaan hidrogeologi, yaitu:

1. Akuifer Bebas (*Unconfined aquifer*)

Akuifer ini hanya sebagian yang terisi air dan terletak pada suatu dasar yang kedap. Pada akuifer demikian, permukaan air di dalam sumur merupakan permukaan bebas atau permukaan *phreatik*.

Untuk mudahnya, dianggap tubuh batuan ini tidak mempunyai rumbai-rumbai kapiler (*capillary fringe*), dimana sebenarnya tebal tubuh air tanah bervariasi dari satu titik ketitik lainnya.

2. Akuifer Tertekan (*Confined Aquifer*)

Akuifer tertekan sepenuhnya jenuh dengan air, bagian atas dan bawahnya dibatasi oleh lapisan yang kedap air (praktis

mempunyai harga $k=0$). Permukaan air (*pizometrik*) terletak di atas lapisan kedap air bagian atas. Air di dalam akuifer ini disebut air artesis (*artesian water*).

3. Akuifer Semi Tertekan (*Semi Confined Aquifer*)

Akuifer ini biasa disebut akuifer setengah tertekan yaitu akuifer yang sepenuhnya jenuh air yang pada bagian atasnya dibatasi oleh lapisan setengah kedap air (*semi-permeabel*) dan terletak pada dasar yang kedap air. Untuk lapisan setengah kedap air biasanya berupa lapisan batuan yang mempunyai harga kelulusan lebih rendah daripada akuifer. Dengan demikian apabila dilakukan pemompaan maka terjadilah penurunan permukaan pizometrik didalam akuifer. Sebagai akibatnya timbullah aliran tegak yang menembus dari lapisan penutup atas yang setengah kedap air tersebut kedalam akuifer, inilah sebabnya akuifer ini dikenal sebagai akuifer bocor.

4. Akuifer Setengah Bebas (*Semi Unconfined Aquifer*)

Akuifer jenis ini mempunyai lapisan penutup dengan nilai kelulusan sedemikian besar akan tetapi masih lebih kecil dari kelulusan akuifer di bawahnya. Dengan demikian aliran mendatar dalam lapisan akuifer itu sendiri tidak dapat diabaikan sehingga akuifer ini disebut juga dengan akuifer setengah bebas.

3.3.1. Air Tanah Bebas

Air tanah bebas dikaji disimpulkan berdasarkan pemetaan muka air tanah bebas dan arah aliran air tanah, yang dikaji berdasarkan pemetaan muka air tanah pada sumur gali, mata air, sumur bor dan geolistrik. Analisis muka air tanah bebas dalam aplikasinya dapat menunjukkan pengaruh struktur geologi yang berkembang terhadap pola aliran air tanah bebas, baik mempengaruhi pembelokan aliran air tanah bebas, pola kontur muka air tanah bebas, elevasi muka air tanah diantara blok-blok struktur geologi, maupun anomaly-anomali yang mengindikasikan struktur bawah permukaan tersebut.

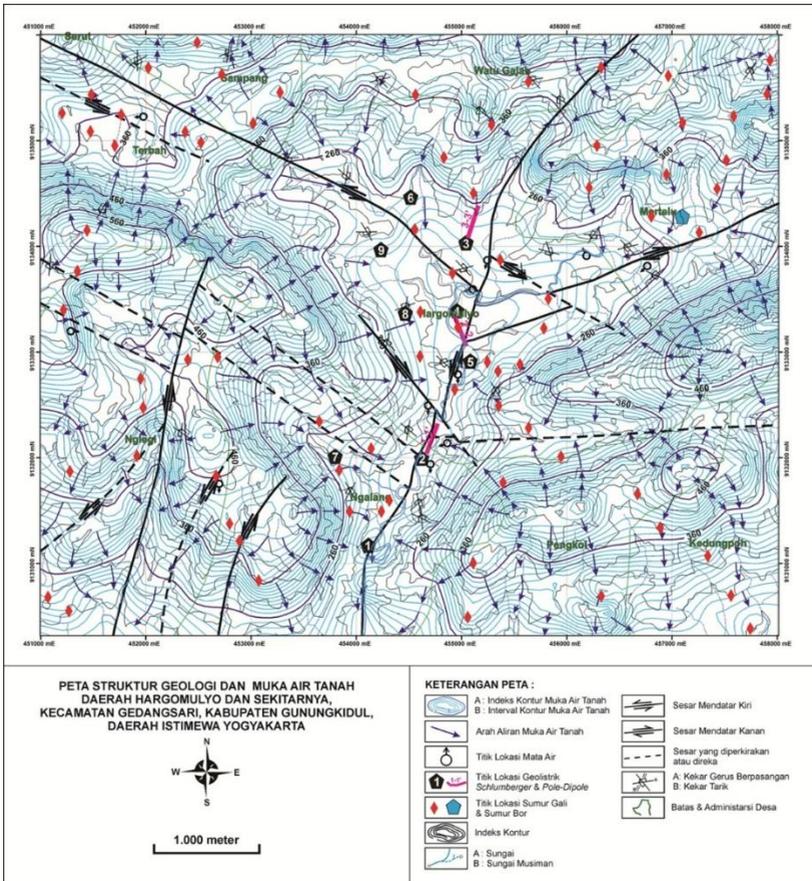
Aplikasi analisis muka air tanah yang menghasilkan peta muka air tanah bebas dan struktur geologi pada daerah Gedangsari dan Nglipar dapat menjadi satu contoh bagaimana hubungan analisis-analisis tersebut.

1. Muka Air Tanah Bebas Gedangsari

Pemetaan geologi dan hidrogeologi yang dilakukan meliputi Desa Hargomulyo, Mertelu, Terbah, Ngoro-Oro, Nglegi dan sekitarnya didapatkan 9 stasiun pengamatan struktur geologi, 76 titik pengukuran sumur gali, 11 titik pengukuran mata air, yang dikorelasikan dengan 9 titik pengukuran *Sounding Schlumberger*, 3 lintasan *Pole-Dipole*, dan 1 titik sumur bor dalam dimuat dalam peta muka air tanah dan struktur geologi (Gambar 3.11).

Pemetaan geologi yang dilakukan menghasilkan tiga pola arah struktur geologi berdasarkan hasil analisis lapangan dan studio dengan mengamati ciri-ciri sesar dan melalui gejala geologi lainnya. Tiga pola arah sesar tersebut meliputi pola arah N-S, NE-SW dan pola arah NW-SE yang memotong Formasi Kebo-Butak, Formasi Semilir dan Formasi Nglanggeran. Pola arah sesar N-S meliputi Sesar Mendatar Ngalang, Sesar Mendatar Manggung, Sesar Mendatar Geduro, Sesar Mendatar Padangan. Pola arah sesar NE-SW meliputi Sesar Mendatar Mertelu. Sedangkan pola arah sesar NW-SE meliputi Sesar Mendatar Banjarejo, Sesar Mendatar Pace, Sesar Mendatar Karang, Sesar Mendatar Kacangan.

Pemetaan hidrogeologi yang dilakukan menunjukkan aliran air tanah bebas mengikuti pola topografi, dengan pola kontur muka air tanah bebas yang berada pada area sesar akan menunjukkan elevasi muka air tanah mendekati elevasi topografi dan banyak menghasilkan titik-titik mata air sebagai respon air tanah keluar sebagai *run-off*.

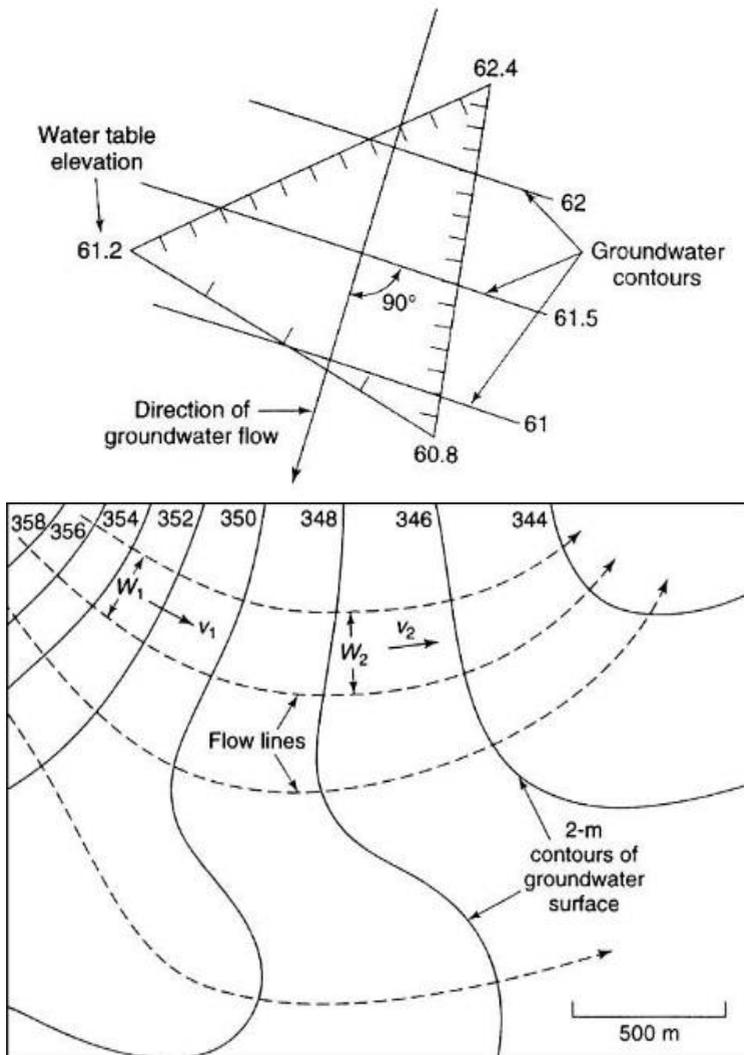


Gambar 3.11 Peta struktur geologi dan muka air tanah bebas daerah Hargomulyo, Kecamatan Gedangsari, Kabupaten Gunungkidul

2. Muka Air Tanah Bebas Nglipar

Pemetaan muka air tanah bebas dianalisis secara detail hingga menghasilkan jaringan aliran/*flownet* berdasarkan interpolasi data-data elevasi muka air tanah yang teridentifikasi di daerah tersebut (Gambar 3.12). Untuk membuat *flownet* ini diperlukan beberapa data, seperti data elevasi muka air tanah data elevasi sumur, dan koordinat titik-titik pengukuran. *Flownet*

ini dapat menunjukkan beberapa informasi dari variasi kerapatan kontur yang dihasilkan. Dari flownet tersebut dapat diperoleh informasi arah aliran air tanah, daerah *recharge*, daerah *discharge*, debit air tanah, dan kemiringan muka air tanah (*hydraulic gradient*). Kemiringan muka air tanah (*hydraulic gradient*) dapat diketahui dari *flownet* dengan cara membuat profil air tanah. Profil air tanah ini dapat diperoleh dengan cara membuat *cross-section* yang memotong beberapa garis kontur. Pada profil kemiringan muka air tanah ini dapat terlihat bahwa semakin rapat kontur air tanah (*flownet*) maka *hydraulic gradien*-nya semakin besar, dan begitupun sebaliknya. Dengan menggunakan profil kemiringan muka air tanah ini maka kita dapat mengetahui juga kondisi medan air tanah berada, sehingga bisa menentukan mana daerah *recharge*, arah aliran air tanahnya serta daerah *discharge*. Selain itu, dapat juga dianalisis perkiraan debit baik itu di daerah hulu maupun daerah hilir air tanah. Adapun contoh peta muka air tanah dan flownet yang di-*overlay* terhadap struktur geologi yang berkembang di daerah Nglipar disajikan dalam Gambar 3.13.



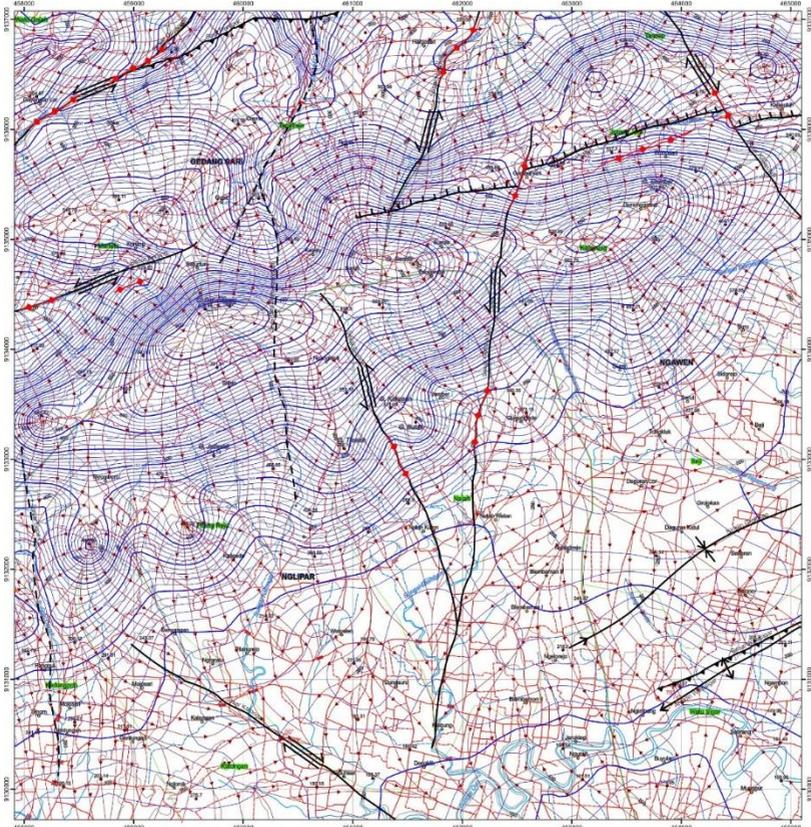
Gambar 3.12 Metode interpolasi kontur muka air tanah (Todd, 1980)

Muka air tanah di daerah penelitian berdasarkan pengukuran sumur gali berkisar antara 2-13 meter termasuk ke dalam kelas kedalaman air tanah dangkal (<7 meter) hingga

sedang (7-15 meter), pada Perbukitan Baturagung sulitnya mencari lokasi-lokasi sumur gali, hanya berdasarkan mata air yang ada pada sungai-sungai *effluent*, berdasarkan penarikan kontur muka air tanah daerah perbukitan tersebut termasuk kedalam kelas air tanah dalam (>15 meter).

Aliran air tanah didapatkan berdasarkan pengkonturan dari elevasi muka air tanah melalui flowline. Arah aliran air tanah terbagi menjadi 2 sistem yaitu aliran air tanah pada daerah perbukitan dan daerah dataran. Arah aliran air tanah pada daerah dataran menuju ke tenggara menuju ke Sungai Oyo (*influent*) yang berhilir ke Sungai Opak atau dapat disebut dengan DAS Opak-Oyo. Sedangkan pada daerah perbukitan, aliran ke arah utara dan selatan menuju ke lembah-lembah pada hulu Sungai Juwet pada Dn. Krinjing, Sungai Papah pada Dn. Guyangan dan Sungai Kedunglaban pada D. Jurangjero. Aliran air tanah pada daerah perbukitan ini menuju ke sungai-sungai *effluent* yang banyak dikontrol oleh sesar-sesar kelompok timurlaut-baratdaya.

Indikasi kontrol struktur geologi sesar terhadap air tanah ditandai dengan kemunculan mata air yang di sekitar struktur geologi yang mengindikasikan bahwa struktur geologi tersebut sebagai *channel* tempat air tanah mengalir ke atas permukaan. Hal tersebut dipengaruhi oleh perbedaan tekanan sekitar zona sesar yang ditandai oleh nilai konduktivitas hidrolik yang rendah sehingga muka air tanah akan mendekati topografi. Adapun kontrol struktur geologi terhadap aliran muka air tanah yaitu mengontrol aliran air tanah bawah permukaan ditandai dengan aliran bawah permukaan yang tidak mengikuti pola sungai yang berkembang.



Gambar 3.13 Peta struktur geologi, muka air tanah dan *flownet* di Kecamatan Ngilipar, Kabupaten Gunungkidul

Akuifer dangkal daerah Gunungkidul bagian utara diasumsikan sebagai akuifer yang ada di dalam sumur gali. Penyusunnya berupa tanah hasil pelapukan batuan atau batuan itu sendiri. Dari pekerjaan lapangan didapatkan bahwa kedalaman sumur gali berkisar antara 6 meter sampai 27 meter. Kedalaman permukaan air di sumur gali berkisar dari 1 meter sampai 18 meter atau ketinggian muka air di sumur gali berkisar antara 150 meter sampai 325 meter.

Berdasarkan data sumur gali didapatkan bahwa secara umum air tanah akuifer dangkal mengalir dari barat laut ke tenggara dan dari

tenggara ke barat laut. Daerah imbuhan berada di bagian barat laut daerah penelitian sedangkan daerah luhan ada di bagian tengah dan sampai selatan daerah penelitian.

Perhitungan debit aliran air tanah akuifer bebas (dangkal):

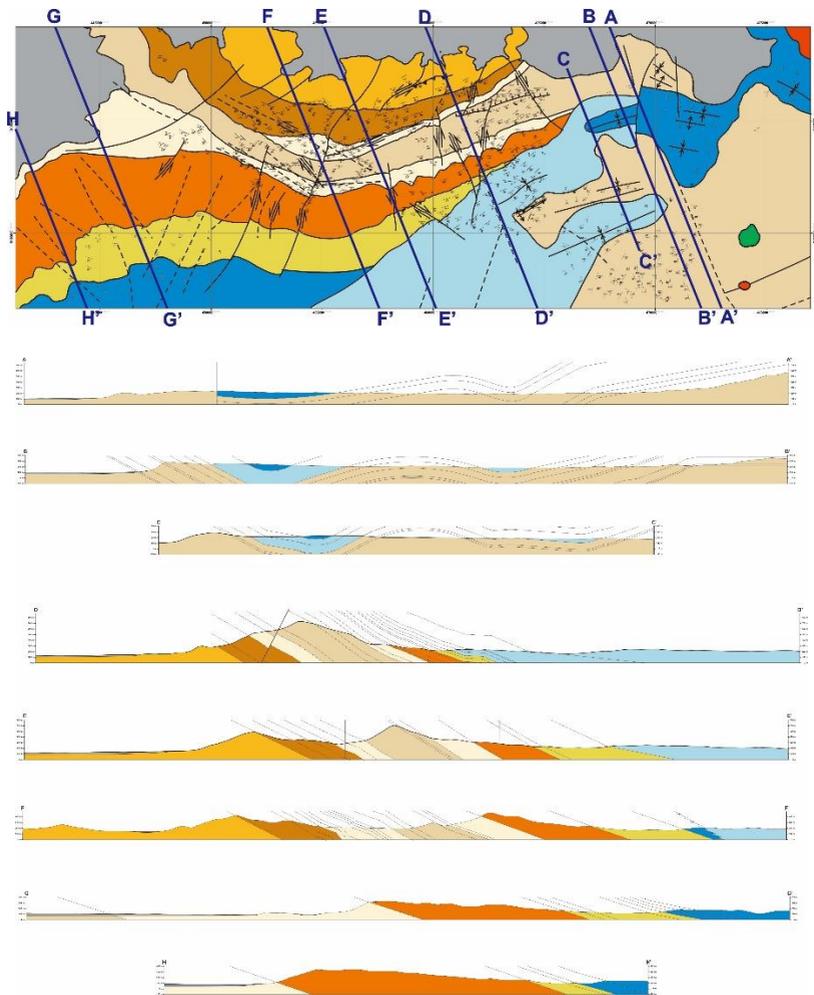
1. Formasi Oyo dan Wonosari : Ukuran luas jaring aliran $1 \text{ km} \times 1 \text{ km} = 1 \text{ km}^2$. Jumlah jaring aliran 14. Dalam 1 jaring aliran didapatkan harga landaian hidrolika aliran air tanah (i) sebesar 0,03; luas penampang (A) = lebar penampang x tebal akuifer = $1000 \text{ m} \times 10 \text{ m} = 10.000 \text{ m}^2$. Konduktivitas hidrolik batuan (K) = 0,94 m/hari, maka debit air tanah (Q) = $K.i.A = 282 \text{ m}^3/\text{hari}$. Debit air tanah di Formasi Oyo dan Wonosari secara keseluruhan = $14 \times 282 \text{ m}^3/\text{hari} = 3.948 \text{ m}^3/\text{hari}$.
2. Formasi Semilir : Ukuran luas jaring aliran $1 \text{ km} \times 1 \text{ km} = 1 \text{ km}^2$. Jumlah jaring aliran 9,5. Dalam 1 jaring aliran didapatkan harga landaian hidrolika aliran air tanah (i) sebesar 0,04; luas penampang (A) = lebar penampang x tebal akuifer = $500 \text{ m} \times 10 \text{ m} = 5.000 \text{ m}^2$. Konduktivitas hidrolik batuan (K) = 0,2 m/hari, maka debit air tanah (Q) = $K.i.A = 40 \text{ m}^3/\text{hari}$. Debit air tanah di Formasi Semilir secara keseluruhan = $9,5 \times 40 \text{ m}^3/\text{hari} = 380 \text{ m}^3/\text{hari}$.
3. Total debit air tanah dangkal = $4.328 \text{ m}^3/\text{hari}$ atau 50,09 liter/detik.

3.3.2. Air Tanah Tertekan

Akuifer air tanah tertekan diasumsikan sebagai akuifer yang ada pada sumur bor dan dikorelasikan dengan data-data bawah permukaan seperti survey geofisika, rekonstruksi penampang geologi berdasarkan pemetaan geologi permukaan. Analisis air tanah tertekan di dalam aplikasinya dapat menunjukkan pola lapisan yang bertindak baik sebagai akuifer maupun lapisan kedap air. Maka berdasarkan rekonstruksi penampang dan pendekatan pemetaan geologi yang detail dapat menunjukkan unit/kelompok lapisan yang kemungkinan dapat dijadikan sebagai potensi kelompok akuifer dalam tersebut. Contoh rekonstruksi penampang detail berdasarkan beberapa cross-section dapat menunjukkan unit-unit batuan yang ada di Daerah Gunungkidul bagian utara ditunjukkan dalam Gambar 3.14.

Pembahasan mengenai air tanah tertekan tidak dapat terlepas dari pembahasan data-data bawah permukaan, dalam hal ini adalah survey geofisika yang dibahas di dalam point selanjutnya.

Di daerah penelitian ada 7 (tujuh) sumur bor di daerah penelitian, yaitu sumur bor Desa Kampung Lor, sumur bor Desa Sambeng 2, sumur bor Desa Kedungpoh, sumur bor Desa Natah, Sumur Bor Desa Ngawis, sumur bor Desan Ngepoh dan sumur bor Desa Mertelu. Kedalaman sumur bor sekitar 100 sampai 125 meter. Berdasarkan data sumur bor diketahui bahwa muka air tanah berkisar antara 2 meter sampai 15 meter atau ketinggian muka air tanah berkisar dari 200 meter sampai 433 meter. Jumlah lapisan akuifer ada 4 dengan total ketebalan sekitar 5 sampai 25 meter, material akuifer berupa batugamping, batugamping pasiran dan batupasir.



Gambar 3.14 Peta geologi yang menghasilkan penampang geologi berdasarkan rekonstruksi unsur-unsur struktur geologi hasil pemetaan geologi permukaan di Kabupaten Gungkidul bagian utara

Sumur bor dalam menentukan debit optimum dihasilkan dari analisis data uji pemompaan atau uji akuifer terhadap sumur bor. Contoh kasus pada uji pemompaan sumur bor Watusigar diketahui bahwa harga debit optimum air tanah sumur bor Desa Watu Sigar = 2,65 l/dt, untuk sumur bor lainnya tidak dijelaskan harga debit optimum air tanahnya karena keterbatasan data.

Perhitungan debit optimum Sumur bor Desa Watu Sigar, Kecamatan Ngawen disajikan sebagai berikut.

Data Continues Discharge Test:

- ✓ Continues Discharge Test = 1,226 lt/dt
- ✓ Pumping Duration = 4 Hours
- ✓ Static Water Level (SWL) = 6,13 Meter
- ✓ Final Pumping Water (PWL) = 8,56 Meter
- ✓ Final Draw Down (S) = 2,43 Meter
- ✓ Spesific Capacity (SC) = 0,5045 l/dt/m

Perhitungan Koefisien Permeabilitas Dari Long Periode :

(lihat Gambar 3.15 dan Gambar 3.16)

$$T = \frac{2,3 \times Q}{4 \times \pi \times \Delta S} \qquad Q = 1,226 \text{ lt/dt}$$

$$= 105,9264 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$= \frac{2,3 \times 105,9264 \text{ m}^3 / \text{hari}}{4 \times 3,14 \times 0,34 \text{ m}} \qquad \Delta S = 0,34 \text{ m}$$

$$= \frac{243,63072 \text{ m}^3 / \text{hari}}{4,2704 \text{ m}}$$

$$= 52,6118444 \text{ m}^2/\text{hari}$$

$$K = \frac{T}{b} \qquad b = 15 \text{ m}$$

$$= \frac{52,6118444 \text{ m}^2 / \text{hari}}{15 \text{ m}}$$

$$= 3,50745629189 \text{ m/hari} \frac{r \text{ lub ang} + r \text{ saringan}}{2}$$

$$= 0,00004059555 \text{ m/dt}$$

Perhitungan Debit Optimum:

(lihat Gambar 3.17)

$$Q_{maks} = 2 \times \pi \times r_e \times b \times \frac{\sqrt{K}}{15}$$

$$= 2 \times 3,14 \times 0,1016 \times 15 \times \frac{\sqrt{0,0000405955}}{15}$$

$$= 0,00406 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$= 4,06 \text{ lt/dt}$$

$$Q_{Opt} = 2,65 \text{ lt/dt}$$

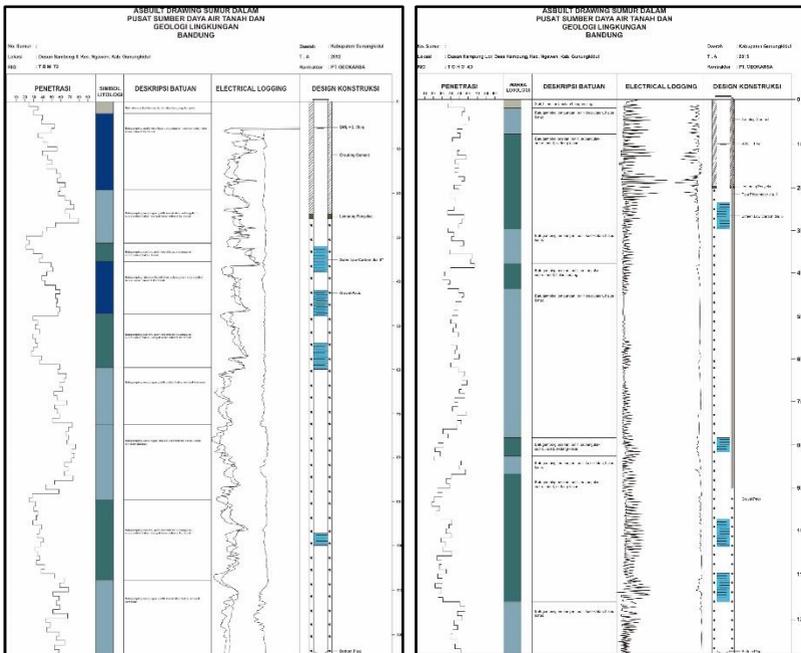
$$Re = \frac{5'' + 3''}{2}$$

$$= 4''$$

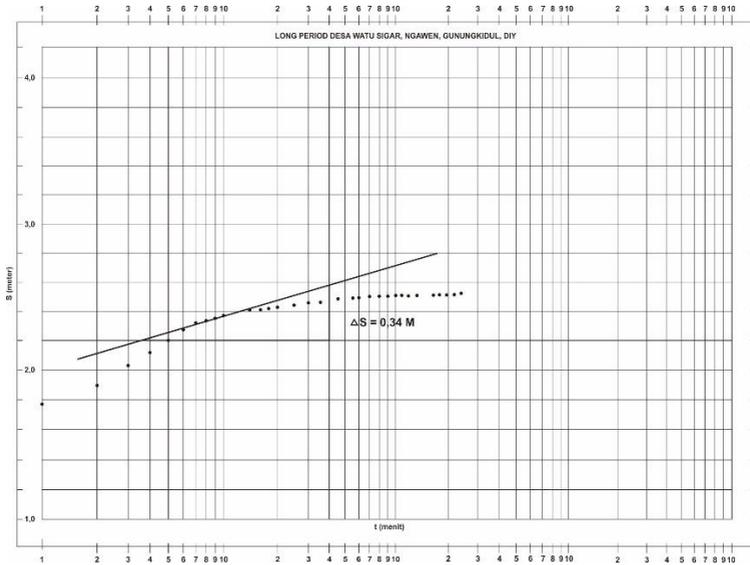
$$= 10,16 \text{ cm}$$

$$= 0,1016 \text{ m}$$

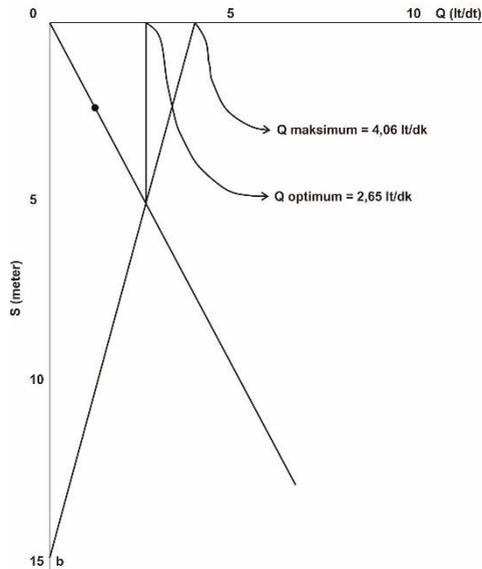
Hasil perhitungan berdasarkan uji pompa terhadap sumur Watu Sigar adalah bahwa Debit optimum = 2,65 lt/dt.



Gambar 3.15 Electrical Logging Daerah Sambeng II, Kabupaten Gunungkidul



Gambar 3.16 Long period Uji Pemompaan di Desa Watu Sigar, Kecamatan Nglipar, Kabupaten Gunungkidul

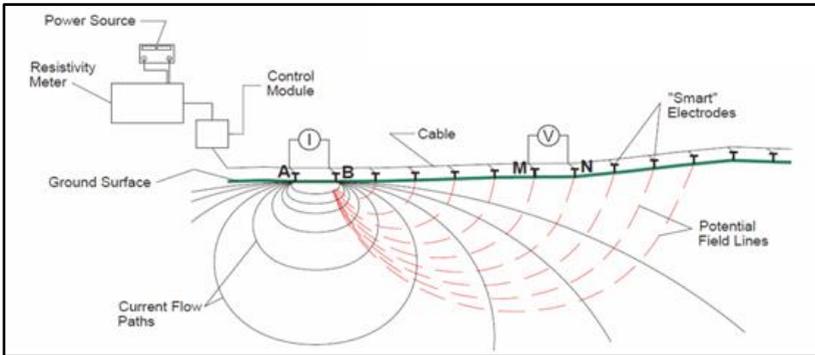


Gambar 3.17 Perhitungan Debit Optimum sumur di Desa Watu Sigar, Kecamatan Nglipar, Kabupaten Gunungkidul

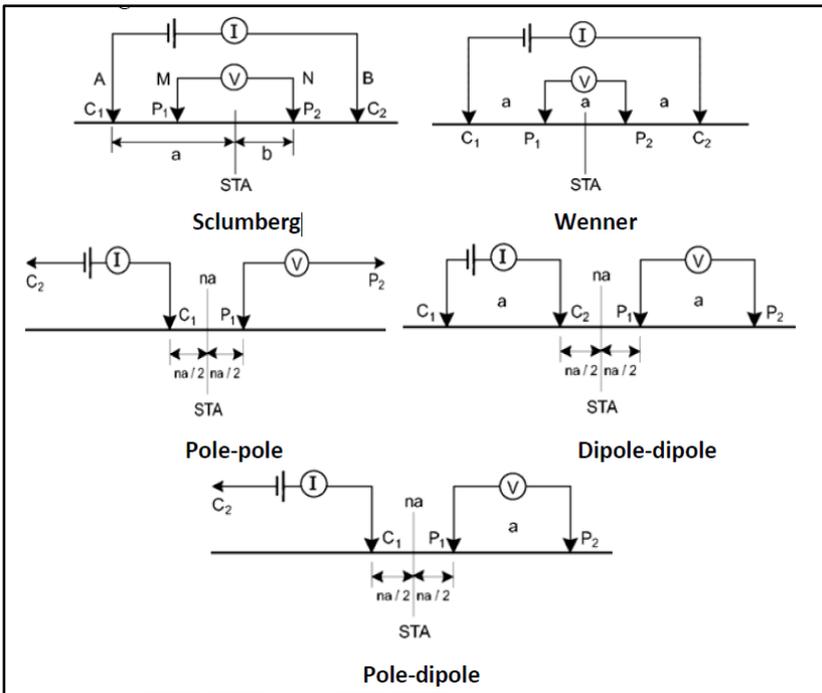
3.4. Survey Geofisika Air tanah

Metode utama dalam survey geofisika air tanah yang efektif adalah metode survey geolistrik, metode survey elastis dan metode radioaktif. Metode survey geolistrik akan dibahas lebih rinci pada pembahasan survey geofisika karena sangat umum dipakai dalam aplikasinya. Adapun metode survey ini terdiri dari beberapa metode. Metode survey geolistrik yang paling efektif adalah metode tahanan jenis (*resistivity method*). Metode ini menggunakan perbedaan tahanan jenis berdasarkan jenis batuan, banyaknya rongga dan kondisi kandungan air pada lapisan batuan. Berdasarkan hal tersebut dapat diperkirakan klasifikasi lapisan batuan maupun struktur bawah tanah, sehingga gambaran air tanah dapat dipahami.

Metode resistivitas pada dasarnya adalah pengukuran harga resistivitas (tahanan jenis) batuan. Prinsip kerja metode ini adalah dengan menginjeksikan arus ke bawah permukaan bumi sehingga diperoleh beda potensial (lihat Gambar 3.18), yang kemudian akan didapat informasi mengenai tahanan jenis batuan. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan keempat elektroda yang disusun sebaris, salah satu dari dua buah elektroda yang berbeda muatan digunakan untuk mengalirkan arus ke dalam tanah, dan dua elektroda lainnya digunakan untuk mengukur tegangan yang ditimbulkan oleh aliran arus tadi, sehingga resistivitas bawah permukaan dapat diketahui. Resistivitas batuan adalah fungsi dari konfigurasi elektroda dan parameter-parameter listrik batuan. Arus yang dialirkan di dalam tanah dapat berupa arus searah (DC) atau arus bolak-balik (AC) berfrekuensi rendah. Untuk menghindari potensial spontan, efek polarisasi dan menghindarkan pengaruh kapasitansi tanah yaitu kecenderungan tanah untuk menyimpan muatan maka biasanya digunakan arus bolak balik yang berfrekuensi rendah (Bhattacharya & Patra, 1968).



Gambar 3.18 Sistem Kerja Metoda Geolistrik Tahanan Jenis/*Resistivity* (Todd, 1980)



Gambar 3.19 Beberapa Konfigurasi Elektroda yang Digunakan Dalam Survei Metoda Geolistrik Tahanan Jenis (Todd, 1980)

Ada beberapa cara pengaturan elektroda ini yaitu metoda *Wenner*, metoda *Pole-pole*, metoda *Pole-dipole*, metoda *Dipole-dipole* dan metoda *Schlumberger* (lihat Gambar 3.19). Dengan C1 dan C2 adalah elektroda-elektroda arus, P1 dan P2 adalah elektroda-elektroda potensial, a adalah spasi elektroda, n adalah perbandingan jarak antara elektroda C1 dan P1 dengan spasi a .

Dari semua sifat fisika batuan dan mineral, resistivitas memperlihatkan variasi harga yang sangat banyak. Pada mineral-mineral logam, harganya berkisar pada $10 - 8 \Omega\text{m}$ hingga $10^7 \Omega\text{m}$. Begitu juga pada batuan-batuan lain, dengan komposisi yang bermacam-macam akan menghasilkan *range* resistivitas yang bervariasi pula. Sehingga *range* resistivitas maksimum yang mungkin adalah dari $1,6 \times 10^{-8}$ (perak asli) hingga $10^{16} \Omega\text{m}$ (belerang murni).

Konduktor biasanya didefinisikan sebagai bahan yang memiliki resistivitas kurang dari $10 - 8 \Omega\text{m}$, sedangkan isolator memiliki resistivitas lebih dari $10^7 \Omega\text{m}$. Dan di antara keduanya adalah bahan semikonduktor. Di dalam konduktor berisi banyak elektron bebas dengan mobilitas yang sangat tinggi. Sedangkan pada semikonduktor, jumlah elektron bebasnya lebih sedikit. Isolator dicirikan oleh ikatan ionik sehingga elektron-elektron valensi tidak bebas bergerak.

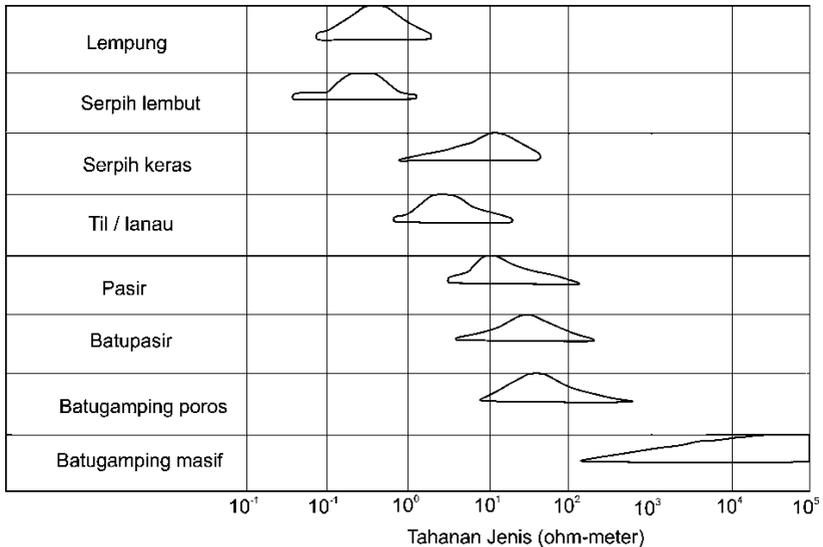
Secara umum, berdasarkan harga resistivitas listriknya, batuan dan mineral dapat dikelompokkan menjadi tiga (Telford W. And Sheriff, 1982) yaitu:

1. Konduktor baik: $10^{-8} < \rho < 1 \Omega\text{m}$
2. Konduktor pertengahan: $1 < \rho < 10^7 \Omega\text{m}$
3. Isolator: $\rho > 10^7 \Omega\text{m}$

Kebanyakan mineral membentuk batuan penghantar listrik yang tidak baik walaupun beberapa logam asli dan grafit menghantarkan listrik Resistivitas yang terukur pada material bumi utamanya ditentukan oleh pergerakan ion-ion bermuatan dalam pori-pori fluida. Air tanah secara umum berisi campuran terlarut yang dapat menambah kemampuannya untuk menghantar listrik, meskipun air tanah bukan konduktor listrik yang baik. Variasi resistivitas material bumi ditunjukkan pada Tabel 3.1 dan Gambar 3.20.

Tabel 3.1 Variasi material bumi/batuan, (Todd, 1980)

Bahan	Resistivitas (Ωm)
Udara	-
Pirit	3×10^{-1}
Galena	2×10^{-3}
Kuarsa	4×10^{10} s.d. 2×10^{14}
Kalsit	1×10^{12} s. d. 1×10^{13}
Batuan Garam	30 s. d. 1×10^{13}
Mika	9×10^{12} s. d. 1×10^{14}
Garnit	10^2 s. d. 1×10^6
Gabro	1×10^3 s. d. 1×10^6
Basalt	10 s. d. 1×10^7
Batugamping	50 s. d. 1×10^7
Batupasir	1 s. d. 1×10^8
Serpih	20 s. d. 1×10^3
Dolomit	10^2 s. d. 10^4
Pasir	1 s. d. 10^3
Lempung	1 s. d. 10^2
Air Tanah	0.5 s. d. 3×10^2
Air Laut	0.2



Gambar 3.20 Kisaran Tahanan Jenis pada beberapa material (Todd, 1980)

Harga tahanan jenis batuan tergantung macam-macam materialnya, densitas, porositas, ukuran dan bentuk pori-pori batuan, kandungan air, kualitas dan suhu, dengan demikian tidak ada kepastian harga tahanan. Jenis untuk setiap macam batuan pada akuifer yang terdiri atas material lepas mempunyai harga tahanan jenis yang berkurang apabila makin besar kandungan air tanahnya atau makin besar kandungan garamnya (misal air asin). Mineral lempung bersifat menghantarkan arus listrik sehingga harga tahanan jenis akan kecil.

3.4.1. Metode Sounding Schlumberger

Aplikasi metode survey geolistrik yang menghasilkan VES (*Vertical Electronic Sounding*) berdasarkan konfigurasi *Schlumberger* mengenai hasil survey sumur bor dalam penentuan akuifer pada akuifer Gojo (Gambar 3.21 dan Gambar 3.22) dan akuifer Jember (Gambar 3.23 dan Gambar 3.24) yang masing-masing terdiri dari 1 titik sumur bor dan 3 titik geolistrik.

1. Akuifer Gojo

Sumur bor dalam Gojo berada pada Dn. Gojo, D. Kedungpoh pada elevasi 233 meter yang tersusun oleh batugamping pasiran, batupasir gampingan dan batugamping lempungan. Sumur bor ini memiliki debit 2.516 l/detik, *static water level* pada kedalaman 4 meter dan *final pumping water level* pada kedalaman 42.1 meter. Kedalaman akuifer pada sumur ini antara 37-64 meter pada litologi batupasir gampingan dengan nilai resistivitas antara 30-35 ohm.m.

Geolistrik titik GJ-1 tersusun oleh perselingan batugamping pasiran dan batugamping lempungan. Batugamping lempungan diinterpretasikan memiliki resistivitas antara 2.13-11.69 ohm.m. Sedangkan batugamping pasiran memiliki resistivitas antara 86.92-26.01 ohm.m. Akuifer pada titik ini berada pada kedalaman 0.48-89.86 meter, ketebalan 89.38 meter dan nilai resistivitas antara 2.13-39.82 ohm.m.

Geolistrik titik GJ-2 tersusun oleh perselingan batugamping pasiran dan batugamping lempungan serta soil. Batugamping lempungan diinterpretasikan memiliki resistivitas antara 3.20-22.44 ohm.m. Batugamping pasiran memiliki resistivitas antara 85.30-35.08 ohm.m. Sedangkan soil memiliki resistivitas antara 8.14-4.07 ohm.m. Akuifer 1 pada titik ini berada pada kedalaman 0.41-60.65 meter, ketebalan 60.24 meter dan nilai resistivitas antara 3.20-39.84 ohm.m. Akuifer 2 berada pada kedalaman lebih dari 101.25-150, ketebalan 48.75 meter dan nilai resistivitas 7.12 ohm.m.

Geolistrik titik GJ-3 tersusun oleh perselingan batugamping pasiran dan batugamping lempungan serta soil. Batugamping lempungan diinterpretasikan memiliki resistivitas 18.61 ohm.m. Batugamping pasiran memiliki resistivitas antara 66.80-29.58 ohm.m. Sedangkan soil memiliki resistivitas antara 7.01-7.60 ohm.m. Akuifer 1 pada titik ini berada pada kedalaman 0.74-12.73 meter, ketebalan 11.99 meter dan nilai resistivitas antara 7.60-38.88 ohm.m. Akuifer 2 berada pada kedalaman 33.80-140, ketebalan 106.2 meter dan nilai resistivitas 35.51-18.61 ohm.m.

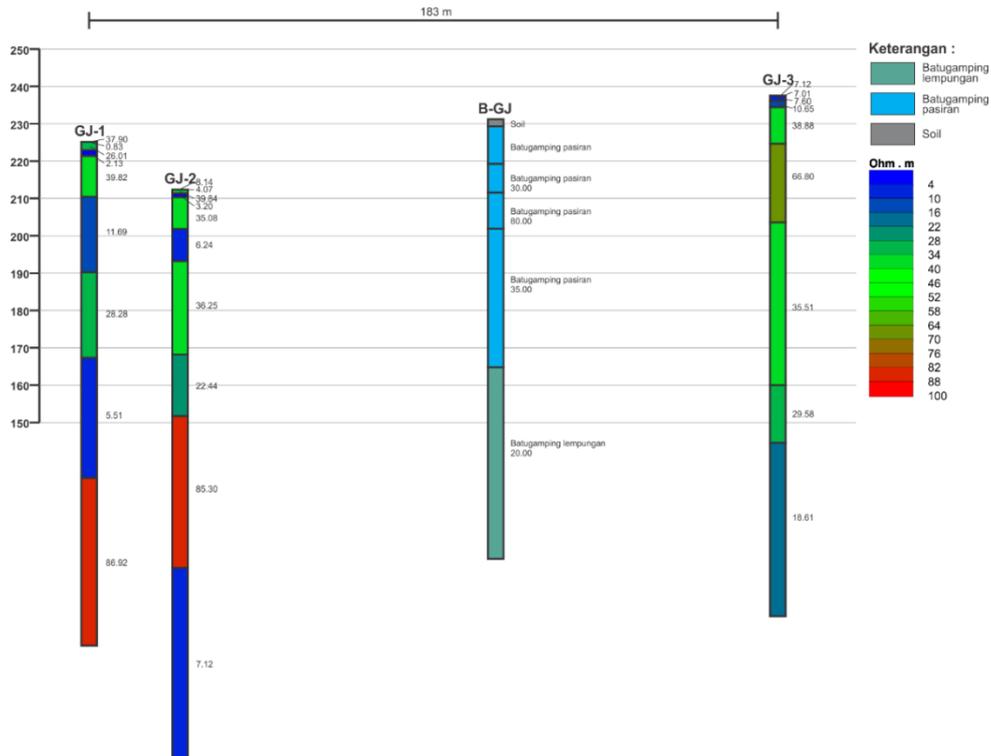
2. Akuifer Jember

Sumur bor dalam Jember berada pada Dn. Jember, D. Natah pada elevasi 295 meter yang tersusun oleh batupasir tuffan, batupasir, tuff dan batupasir breksian. Sumur bor ini memiliki debit 1.802 l/detik, *static water level* pada kedalaman 12.4 meter dan *final pumping water level* pada kedalaman 50.3 meter. Kedalaman akuifer pada sumur ini antara 65-84 meter dan 87-98 meter pada litologi batupasir dengan nilai resistivitas antara 16-23 ohm.m.

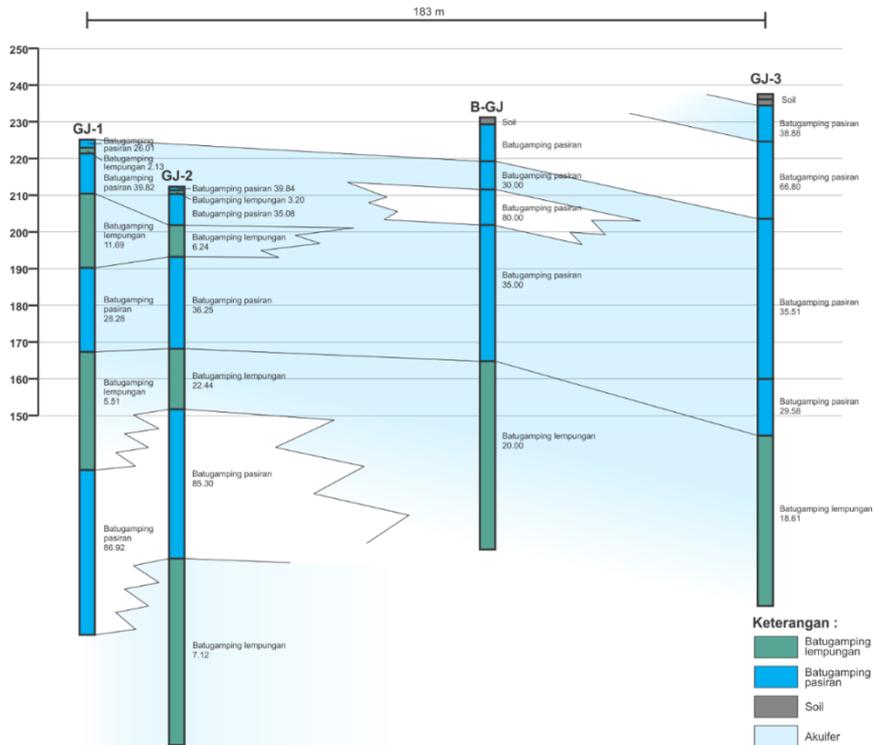
Geolistrik titik JB-1 tersusun oleh tuff, batupasir, batupasir tuffan, batupasir breksian dan soil. Tuff diinterpretasikan memiliki resistivitas antara 1.92-2.95 ohm.m, batupasir 16.51 ohm.m, batupasir tuffan 7.67 ohm.m, batupasir breksian 43.78 ohm.m dan soil 17.85 ohm.m. Akuifer 1 pada titik ini berada pada kedalaman 4.03-29.56 meter, ketebalan 25.53 meter dan nilai resistivitas 16.51 ohm.m. Akuifer 2 pada titik ini berada pada kedalaman 60.88-70.40 meter, ketebalan 9.52 meter dan nilai resistivitas 7.67 ohm.m.

Geolistrik titik JB-2 tersusun oleh batupasir tuffan, tuff dan batupasir breksian. Batupasir tuffan diinterpretasikan memiliki resistivitas antara 5.21-7.34 ohm.m, tuff 2.77 ohm.m dan batupasir breksian 46.85 ohm. Akuifer 1 pada titik ini berada pada kedalaman 20.89-69.07 meter, ketebalan 48.18 meter dan nilai resistivitas 5.59 ohm.m. Akuifer 2 pada titik ini berada pada kedalaman 91.02-190.00 meter, ketebalan 98.98 meter dan nilai resistivitas antara 5.21-7.34 ohm.m.

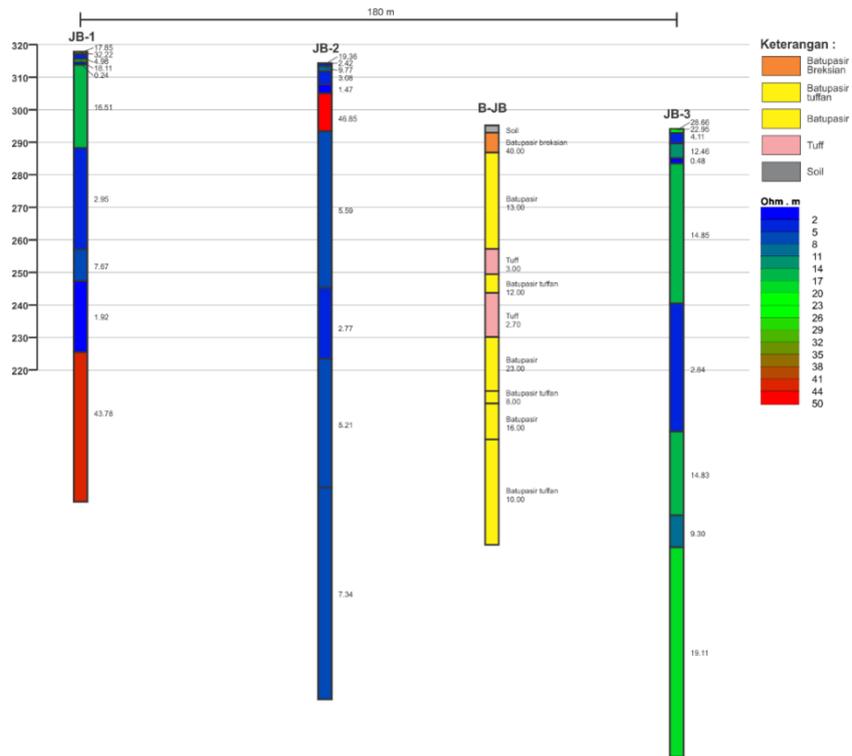
Geolistrik titik JB-3 tersusun oleh batupasir, batupasir tuffan dan tuff. Batupasir diinterpretasikan memiliki resistivitas antara 14.83-19.11 ohm.m, batupasir tuffan 9.30 ohm.m dan tuff 2.84 ohm.m. Akuifer 1 pada titik ini berada pada kedalaman 10.69-53.86 meter, ketebalan 43.17 meter dan nilai resistivitas 14.85 ohm.m. Akuifer 2 pada titik ini berada pada kedalaman 93.34-190 meter, ketebalan 96.66 meter dan nilai resistivitas antara 9.30-19.11 ohm.m.



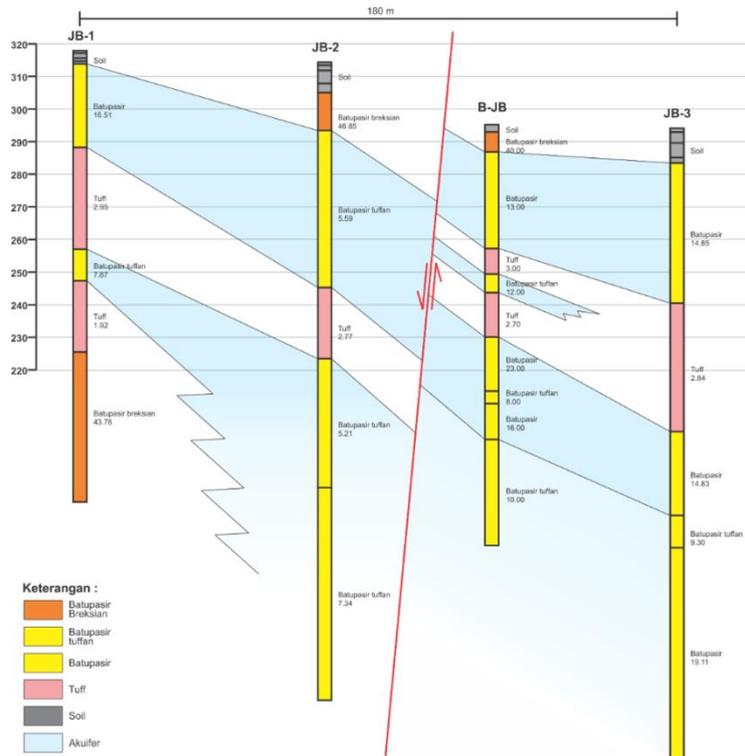
Gambar 3.21 Log resistivitas geolistrik (GJ-1/2/3) dan sumur bor (B-GJ) Dusun Gojo, Desa Kedungpoh (Sumber data: Pusat Sumber Daya Air Tanah dan Geologi Lingkungan, 2012)



Gambar 3.22 Interpretasi akuifer berdasarkan log resistivitas geolistrik (GJ-1/2/3) dan sumur bor (B-GJ) Dusun Gojo, Desa Kedungpoh



Gambar 3.23 Log resistivitas geolistrik (JB-1/2/3) dan sumur bor (B-JB) Dusun Jember, Desa Natah (Sumber data: Pusat Sumber Daya Air Tanah dan Geologi Lingkungan, 2012)

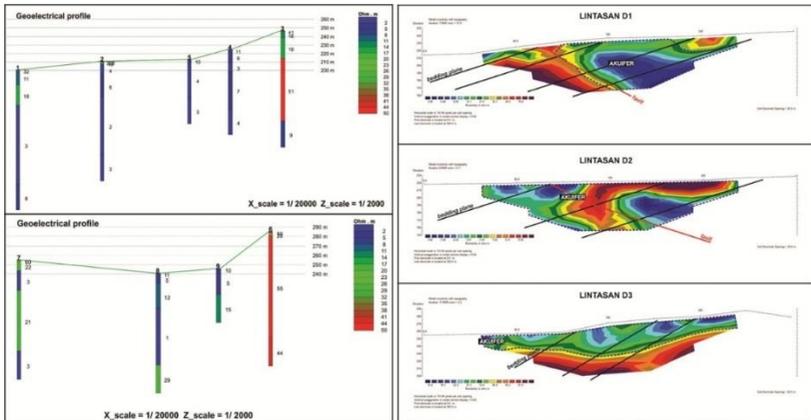


Gambar 3.24 Interpretasi akuifer berdasarkan log resistivitas geolistrik (JB-1/2/3) dan sumur bor (B-JB) Dusun Jember, Desa Natah

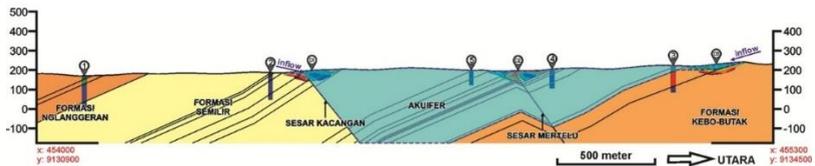
3.4.2. Metode Dipole-Dipole

Adapun contoh aplikasi metode survey geolistrik berupa *Dipole-Dipole*, dalam penentuan zona akuifer dan penentuan pola struktur geologi yang berkembang, metode ini dapat pula di konfigurasi terhadap data geologi permukaan maupun VES yang menghasilkan suatu penampang detail dalam menginterpretasi gejala struktur geologi berupa lapisan batuan dan sesar maupun kondisi akuifer air tanah. Contoh hasil aplikasi pada akuifer Hargomulyo (Gambar 3.25 dan Gambar 3.26).

Hasil pengukuran geolistrik menunjukkan bahwa sistem akuifer Hargomulyo dikontrol oleh struktur geologi sebagai porositas sekunder/celah air tanah terperangkap, ditunjukkan dengan nilai resistivitas yang rendah. Hasil pengukuran geolistrik metode *Sounding Schlumberger* resistivitas menunjukkan persebaran stratigrafi baik yang jenuh air maupun yang tidak (Gambar 3.25). Berdasarkan titik pengukuran 1, 2, 4, 5, 7, 8 dan 9 menunjukkan zona akuifer air tanah dibuktikan dengan nilai resistivitas berkisar antara 2-32 ohm.m. Sedangkan pada titik pengukuran 3 dan 6, menunjukkan dasar dari akuifer air tanah dibuktikan oleh nilai resistivitas antara 44-55 ohm.m. Sedangkan hasil pengukuran geolistrik metode *Pole-Dipole* menunjukkan anomali resistivitas yang diindikasikan sebagai zona sesar dan perlapisan batuan (Gambar 3.25). Pada Lintasan 1 & 2 *Pole-Dipole* menunjukkan pola anomali miring ke utara sebagai Sesar Mendatar Kacangan dan Sesar Mendatar Mertelu dan pola anomali miring ke selatan sebagai lapisan batuan. Persebaran akuifer pada lintasan ini dikontrol oleh struktur sesar yang ditunjukkan oleh nilai resistivitas < 35 ohm.m. Lintasan 3 *Pole-Dipole* menunjukkan pola anomali ke selatan sebagai lapisan batuan. Akuifer pada lintasan ini merupakan akuifer bebas yang dangkal pada bagian permukaan dengan kedalaman berkisar antara 10-20 meter ditunjukkan oleh nilai resistivitas < 35 ohm.m, dasar akuifer air tanah tersebut ditunjukkan oleh nilai resistivitas >35 ohm.m.



Gambar 3.25 Hasil pengukuran survey geolistrik akuifer di Desa Hargomulyo, Kecamatan Gedangsari, Kabupaten Gunungkidul metode *Schlumberger* (kiri) dan metode *Dipole-dipole* (kanan)



Gambar 3.26 Penampang detil satuan batuan & akuifer air tanah di Sungai Ngalang, Kecamatan Gedangsari, Kabupaten Gunungkidul berdasarkan pemetaan geologi permukaan dan survey geolistrik

Pengukuran gejala geologi, hidrogeologi tersebut dikonfigurasi menjadi beberapa diagram balok dan penampang yang menghasilkan orientasi persebaran secara vertikal, lalu data geofisika sebagai pengontrol interpretasi dan dasar penarikan penampang konfigurasi dan hidrostratigrafi disajikan dalam Gambar 3.26.

3.4.3. Permodelan Berdasarkan Survey Geolistrik

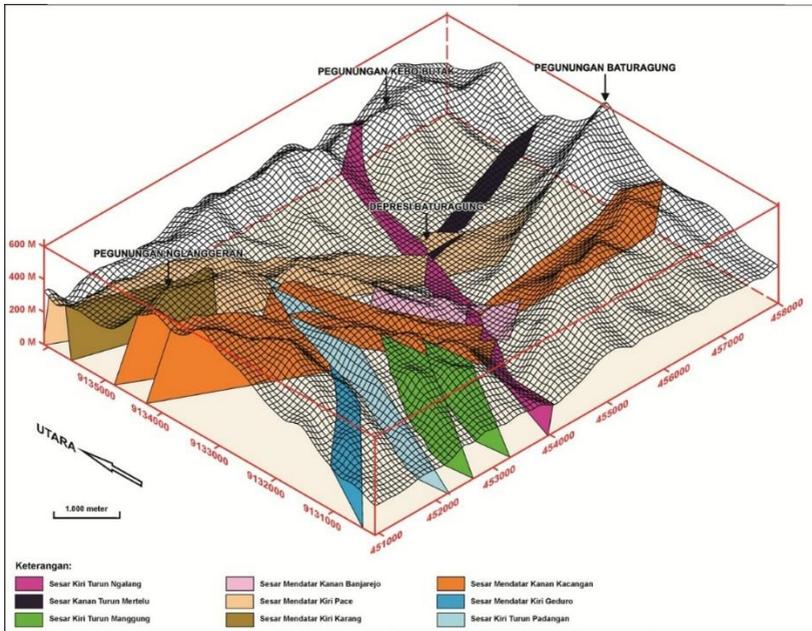
Survey geolistrik dapat menghasilkan suatu analisis geometri akuifer air tanah yang dikaji berdasarkan pemetaan muka air tanah pada sumur gali, mata air, sumur bor dan geolistrik. Analisis

pendugaan geolistrik dikorelasikan dengan sumur bor dalam untuk menggambarkan ketebalan akuifer air tanah di beberapa lokasi penelitian yang setempat dan menghasilkan suatu diagram balok yang nantinya dapat menunjukkan sebaran vertikal maupun horisontal air tanah.

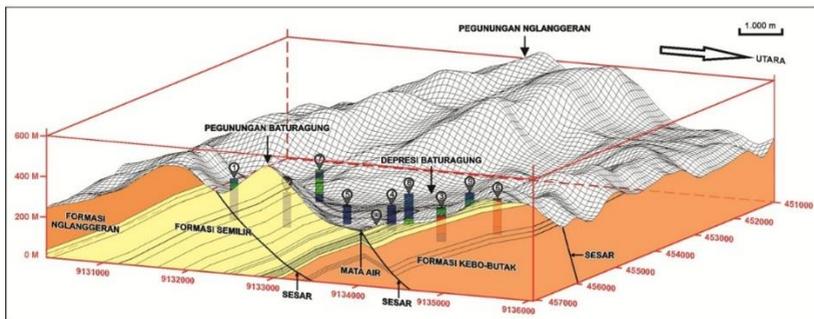
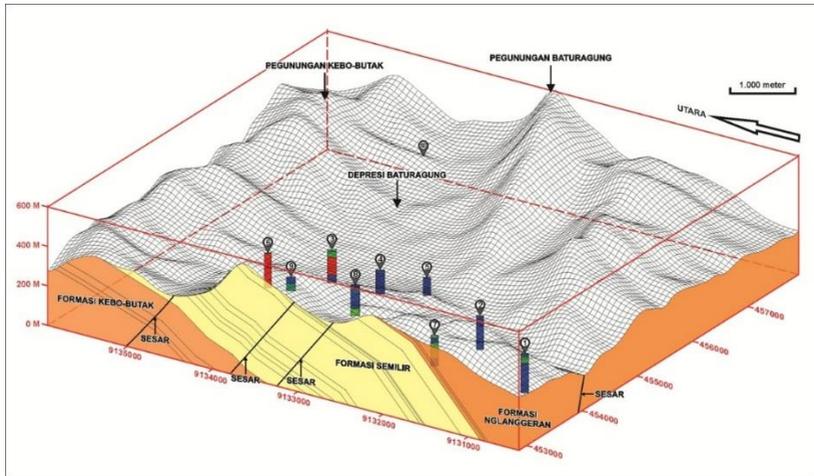
Adapun hasil konfigurasi dari beberapa data yang menghasilkan diagram balok akuifer Gedangsari, gejala geologi berupa stratigrafi dan struktur geologi menunjukkan kedudukan perlapisan batuan secara umum memiliki kemiringan relatif ke selatan, dengan dominasi litologi berdasarkan pemetaan geologi permukaan yaitu batupasir vulkanik dan breksi pada bagian bawah, batupasir tuffan, tuff dengan sisipan breksi, batulapili dan lava andesit pada bagian tengah, dan breksi dengan sisipan lava andesit dan batupasir vulkanik pada bagian atas. Keadaan litologi tersebut sangat segar dengan persebaran yang sangat baik diamati. Adapun batuan yang bertindak sebagai akuifer air tanah yaitu pada litologi batupasir tuffan, tuff, dan batupasir vulkanik pada Formasi Semilir dengan dasar akuifer yaitu batuan vulkanik massif yang lebih tua diperkirakan termasuk kedalam Formasi Kebo-Butak. Persebaran struktur geologi lainnya berupa kekar dan sesar memanjang E-W sebagai suatu zona sesar dan kekar dengan intensitas yang tinggi membentuk celah sebagai bentuk porositas sekunder pada akuifer daerah penelitian. Kekar-kekar sistematis banyak dikontrol oleh pembentukan sesar. Persebaran sesar dapat dikelompokkan menjadi 3 pola arah umum antara lain pola N-S pola NE-SW dan pola NW-SE. Pola berarah NE-SW dan NW-SE merupakan pola yang mengontrol persebaran akuifer daerah penelitian. Pada umumnya orientasi sesar SE-NW berkisar antara N 275°W hingga N 310° W dan NE-SW berkisar antara N20°E hingga 50°E. Diantara sesar-sesar tersebut merupakan sesar yang penting karena mengontrol geomorfologi lembah sesar, pemunculannya mata air dan merupakan pengontrol dari suatu sistem geometri air tanah (sistem akuifer). Sedangkan pola N-S merupakan pola sesar yang tegak lurus terhadap arah dari morfologi perbukitan homoklin yang bertindak sebagai *channel* air tanah keluar sebagai *run-off*. Pola permodelan 3 dimensi sesar menjadi diagram balok disajikan pada Gambar 3.27.

Pemetaan hidrogeologi meliputi pemetaan sumur gali, mata air dan didukung oleh pemetaan geolistrik metode *Sounding Schlumberger* dan *Pole-Dipole*. Persebaran sumur gali banyak berada pada bagian lembah dan rendahan, sedangkan mata air berada pada tekuk lereng antara morfologi perbukitan dan lembah. Berdasarkan pemetaan tersebut maka pola muka air tanah dapat diketahui menuju ke bagian lembah bagian tengah Kec. Gedangsari tepatnya Desa Hargomulyo. Arah aliran ini merupakan penunjuk bahwa perbukitan tersebut merupakan daerah imbuhan, sedangkan lembah “depresi Baturagung” ini merupakan daerah luahan atau lepasan dengan Kali Juwet dan Ngalang sebagai channel mengalirnya air tanah yang terkumpul pada “depresi Baturagung” ini menjadi *run-off*.

Berdasarkan hasil pengukuran geolistrik menunjukkan bahwa sistem akuifer dikontrol oleh struktur geologi sebagai porositas sekunder/celah air tanah terperangkap, ditunjukkan dengan nilai resistivitas yang rendah. Hasil pengukuran geolistrik menunjukkan zona akuifer air tanah dibuktikan dengan nilai resistivitas berkisar antara 2-32 ohm.m, dengan dasar akuifer air tanah tersebut ditunjukkan oleh nilai resistivitas >35 ohm.m. Pengukuran gejala geologi, hidrogeologi tersebut dikonfigurasi menghasilkan diagram balok dalam Gambar 3.28.



Gambar 3.27 Diagram balok struktur geologi daerah Kecamatan Gedangsari, Kabupaten Gunungkidul



Gambar 3.28 Diagram balok satuan batuan & akuifer air tanah di Kecamatan Gedangsari, Kabupaten Gunungkidul berdasarkan pemetaan geologi permukaan dan profil resistivitas geolistrik

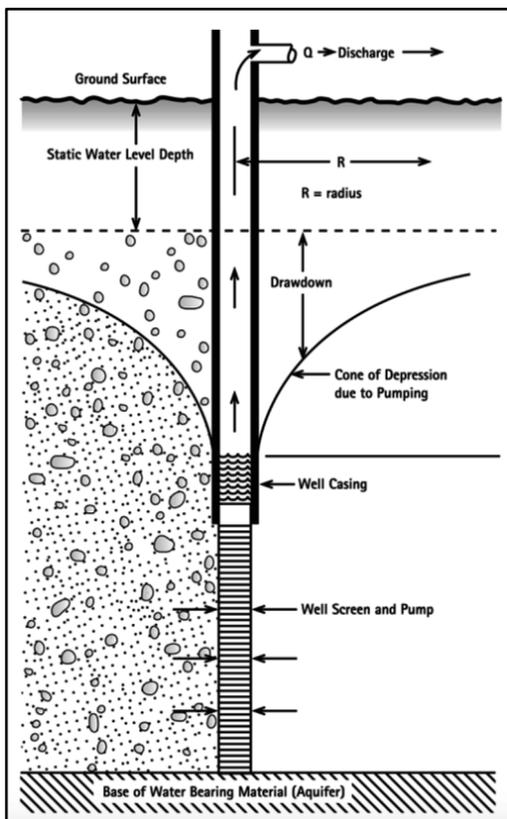
3.5. Potensi Air tanah di Gunungkidul bagian Utara

3.5.1. Uji Pemompaan

Uji akuifer (atau uji pompa) dilaksanakan untuk mengevaluasi karakteristik akuifer dengan menstimulasi akuifer melalui pemompaan dan observasi terhadap respon akuifer berupa penurunan MAT (Muka Air Tanah).

Uji pemompaan yang biasa dilaksanakan dalam uji akuifer menggunakan debit konstan pada periode minimum satu hari atau 24 jam, dengan mengukur MAT pada sumur bor dalam. Saat air

dipompa ke permukaan, maka tekanan dalam akuifer akan menurun. Penurunan ini ditandai dengan penurunan MAT atau *hydraulic head* pada sumur bor dalam (Gambar 3.29). Besarnya penurunan ini akan berkurang dalam radius tertentu dari titik sumur pemompaan, radius ini dinamakan radius pengaruh.



Gambar 3.29 Tipikal Skema Uji Pemompaan/akuifer (Moench, 1984)

Uji pemompaan yang dilakukan di daerah penelitian dilakukan di 11 sumur bor dalam yang tersebar di daerah penelitian:

1. Dusun Kampung Lor, Desa Kampung, Kecamatan Ngawen
2. Dusun Ngepoh, Desa Semin, Kecamatan Semin
3. Dusun Karanganom, Desa Ngawis, Kecamatan Karangmojo

4. Dusun Sambeng, Desa Ngawen, Kecamatan Ngawen
5. Dusun Salak, Desa Semoyo, Kecamatan Patuk
6. Dusun Mertelu Kulon, Desa Mertelu, Kecamatan Gedangsari
7. Dusun Jember, Desa Natah, Kecamatan Nglipar
8. Desa Pengkol, Kecamatan Nglipar
9. Watusigar, Kecamatan Ngawen
10. Dusun Sumberan Desa Tancep Kecamatan Ngawen
11. Dusun Surodadi, Desa Umbulrejo, Kecamatan Ponjong

Berdasarkan hasil uji pemompaan yang telah dilakukan didapatkan debit air tanah terbesar dan terkecil yaitu di Daerah Watusigar, Kec. Ngawen dengan debit air tanah 4,06 lt/dt dan debit air tanah terkecil terdapat di Daerah Ngepoh, Desa Semin, Kecamatan Semin, Sambeng, Desa Ngawen, Kecamatan Ngawen, Mertelu Kulon, Desa Mertelu, Kecamatan Gedangsari dan Jember, Desa Natah, Kecamatan Nglipar dengan debit air tanah 1,802 lt/dt.

3.5.2. Kualitas Air Tanah

Analisa kualitas air tanah merupakan pekerjaan uji laboratorium terhadap sampel air tanah untuk mengetahui konsentrasi kandungan kimia air tanah yang akan dimanfaatkan sebagai sumber air minum. Pengujian sampel air tanah mengacu pada Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 492 Tahun 2010 tentang persyaratan Kualitas Air Minum. Data kimia air tanah yang digunakan dalam analisis kualitas air minum meliputi sifat fisika yang tidak langsung berhubungan dengan kesehatan dan kandungan bahan organik yang kemungkinan dapat menimbulkan keluhan pada konsumen. Sampel air tanah untuk pengujian kualitas diambil dari 5 sumber air pada lokasi penelitian. Data kimia air tanah hasil uji laboratorium dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3.2 Hasil Analisa Kualitas Air Tanah Desa Pengkol, Nglipar, Gunungkidul

Desa Pengkol, Nglipar, Gunungkidul				
No	Parameter	Satuan	Hasil Uji	Kadar Maksimal yang diperbolehkan
Fisika				
1	Bau	-	berbau amis	tak berbau
2	Warna	TCU	3	15
3	Jml. Z. Pdt terlarur (TDS)	mg/L	231	500
4	Kekeruhan	NTU	4	5
5	Rasa	-	tak berasa	tak berasa
6	Suhu	°C	26,1	± 3 C
Kimia				
1	Arsen (As)	mg/L	< 0.005	0,01
2	Fluorida (F)	mg/L	0,22124	1,5
3	Total Kromium	mg/L	< 0.0213	0,05
4	Kadmium (Cd)	mg/L	< 0.0004	0,003
5	Nitrit (NO ₂)	mg/L	0,0096	3
6	Nitrat (NO ₃)	mg/L	< 0.04	50
7	Sianida (CN)	mg/L	tak terdeteksi	0,07
8	Selenium (Se)	mg/L	-	0,01
9	Aluminium (Al)	mg/L	-	0,2
10	Besi (Fe)	mg/L	0,4024	0,3
11	Kesadahan (CaCO ₃)	mg/L	209,04	500
12	Klorida (Cl)	mg/L	3,5	250
13	Mangan (Mn)	mg/L	0,3443	0,4
14	Ph	-	6,9	6.5 - 8.5
15	Seng (Zn)	mg/L	< 0.0083	3
16	Sulfat (SO ₄)	mg/L	9	250
17	Tembaga (Cu)	mg/L	< 0.0069	2
18	Amonia (NH ₃)	mg/L	0,0019	1,5

19	Air Raksa (Hg)	mg/L	-	0,001
20	Antimon (Sb)	mg/L	-	0,02
21	Barium (Ba)	mg/L	-	0,7
22	Boron (B)	mg/L	-	0,5
23	Molibdenum (Mo)	mg/L	-	0,07
24	Nikel (Ni)	mg/L	-	0,07
25	Sodium	mg/L	-	200
26	Sisa Khlor	mg/L	-	5
27	Timbal (Pb)	mg/L	-	0,01
28	Uranium	mg/L	-	0,015
29	Zat Organik	mg/L	-	10
30	Deterjen	mg/L	-	0,05

Tabel 3.3 Hasil Analisa Kualitas Air Tanah Desa Watu Sigar, Ngawen, Gunungkidul

Desa Watu Sigar, Ngawen, Gunungkidul				
No	Parameter	Satuan	Hasil Uji	Kadar Maksimal yang diperbolehkan
Fisika				
1	Bau	-	tak berbau	tak berbau
2	Warna	TCU	< 1	15
3	Jml. Z. Pdt terlarur (TDS)	mg/L	349	500
4	Kekeruhan	NTU	3	5
5	Rasa	-	tak berasa	tak berasa
6	Suhu	°C	26,1	± 3 C
Kimia				
1	Arsen (As)	mg/L	< 0.005	0,01
2	Fluorida (F)	mg/L	0,3518	1,5
3	Total Kromium	mg/L	< 0.0213	0,05
4	Kadmium (Cd)	mg/L	< 0.0004	0,003
5	Nitrit (NO ₂)	mg/L	0,0046	3

6	Nitrat (NO ₃)	mg/L	< 0.01	50
7	Sianida (CN)	mg/L	tak terdeteksi	0,07
8	Selenium (Se)	mg/L	-	0,01
9	Aluminium (Al)	mg/L	-	0,2
10	Besi (Fe)	mg/L	< 0.0162	0,3
11	Kesadahan (CaCO ₃)	mg/L	321,61	500
12	Klorida (Cl)	mg/L	10	250
13	Mangan (Mn)	mg/L	< 0.0101	0,4
14	Ph	-	6,8	6.5 - 8.5
15	Seng (Zn)	mg/L	< 0.0083	3
16	Sulfat (SO ₄)	mg/L	8	250
17	Tembaga (Cu)	mg/L	< 0.0069	2
18	Amonia (NH ₃)	mg/L	0,0021	1,5
19	Air Raksa (Hg)	mg/L	-	0,001
20	Antimon (Sb)	mg/L	-	0,02
21	Barium (Ba)	mg/L	-	0,7
22	Boron (B)	mg/L	-	0,5
23	Molibdenum (Mo)	mg/L	-	0,07
24	Nikel (Ni)	mg/L	-	0,07
25	Sodium	mg/L	-	200
26	Sisa Klor	mg/L	-	5
27	Timbal (Pb)	mg/L	-	0,01
28	Uranium	mg/L	-	0,015
29	Zat Organik	mg/L	-	10
30	Deterjen	mg/L	-	0,05

Tabel 3.4 Hasil Analisa Kualitas Air Tanah Desa Mertelu Kulon, Gedangsari, Gunungkidul

Desa Mertelu Kulon, Gedangsari, Gunungkidul				
No	Parameter	Satuan	Hasil Uji	Kadar Maksimal yang diperbolehkan
Fisika				
1	Bau	-	berbau amis	tak berbau
2	Warna	TCU	105	15
3	Jml. Z. Pdt terlarur (TDS)	mg/L	250	500
4	Kekeruhan	NTU	46	5
5	Rasa	-	tak berasa	tak berasa
6	Suhu	°C	27,1	± 3 C
Kimia				
1	Arsen (As)	mg/L	< 0.005	0,01
2	Fluorida (F)	mg/L	0,7629	1,5
3	Total Kromium	mg/L	< 0.0213	0,05
4	Kadmium (Cd)	mg/L	< 0.0006	0,003
5	Nitrit (NO ₂)	mg/L	0,0102	3
6	Nitrat (NO ₃)	mg/L	0,12	50
7	Sianida (CN)	mg/L	tak terdeteksi	0,07
8	Selenium (Se)	mg/L	-	0,01
9	Aluminium (Al)	mg/L	-	0,2
10	Besi (Fe)	mg/L	1,8316	0,3
11	Kesadahan (CaCO ₃)	mg/L	18,00	500
12	Klorida (Cl)	mg/L	17,0	250
13	Mangan (Mn)	mg/L	0,0370	0,4
14	Ph	-	7,2	6.5 - 8.5
15	Seng (Zn)	mg/L	1,2270	3
16	Sulfat (SO ₄)	mg/L	17	250
17	Tembaga (Cu)	mg/L	< 0.0069	2
18	Amonia (NH ₃)	mg/L	0,0059	1,5

19	Air Raksa (Hg)	mg/L	-	0,001
20	Antimon (Sb)	mg/L	-	0,02
21	Barium (Ba)	mg/L	-	0,7
22	Boron (B)	mg/L	-	0,5
23	Molibdenum (Mo)	mg/L	-	0,07
24	Nikel (Ni)	mg/L	-	0,07
25	Sodium	mg/L	-	200
26	Sisa Khlor	mg/L	-	5
27	Timbal (Pb)	mg/L	-	0,01
28	Uranium	mg/L	-	0,015
29	Zat Organik	mg/L	-	10
30	Deterjen	mg/L	-	0,05

Tabel 3.5 Hasil Analisa Kualitas Air Tanah Desa Tancep, Ngawen, Gunungkidul

No	Parameter	Satuan	Kadar Maks yang diperbolehkan	Hasil Pemeriksaan	Metode Pemeriksaan
Fisika					
1	Bau	-	-	Tidak Berbau	Organoleptic
2	Warna	Pt.Co	50	1	Spectrophotometric
3	Kekeruhan	NTU	25	0.40	Spectrophotometric
4	Jumlah zat padat terlarut	Mg/l	1.500	305	Electrometric
5	Rasa	-	-	Tidak Berasa	Organoleptic
Kimiawi					
1	Kesadahan (CaCO ₃)	Mg/l	500	96	Spectrophotometric
2	Klorida	Mg/l	600	23.6	Spectrophotometric
3	Besi	Mg/l	1.0	0.01	Spectrophotometric
4	Mangan	Mg/l	0.5	0.03	Spectrophotometric
5	Flourida	Mg/l	1.5	0.86	Spectrophotometric

6	Nitrat	Mg/l	10	2.3	Spectrophotometric
7	Nitrit	Mg/l	1.0	0.013	Spectrophotometric
8	Sulfat	Mg/l	400	6	Spectrophotometric
9	Seng	Mg/l	15	0.06	Organoleptic
10	pH	Mg/l	6.5-9.0	9.7	Electrometric

Tabel 3.6 Hasil Analisa Kualitas Air Tanah Desa Umbul Rejo, Ponjong, Gunungkidul

No	Parameter	Satuan	Kadar Maks yang diperbolehkan	Hasil Pemeriksaan	Metode Pemeriksaan
Fisika					
1	Bau	-	-	Tidak Berbau	Organoleptic
2	Warna	Pt.Co	50	1.9	Spectrophotometric
3	Kekeruhan	NTU	25	2.83	Spectrophotometric
4	Jumlah zat padat terlarut	Mg/l	1.500	144	Electrometric
5	Rasa	-	-	Tidak Berasa	Organoleptic
Kimiawi					
1	Kesadahan (CaCO ₃)	Mg/l	500	2.9	Spectrophotometric
2	Klorida	Mg/l	600	34	Spectrophotometric
3	Besi	Mg/l	1.0	0.349	Spectrophotometric
4	Mangan	Mg/l	0.5	0.09	Spectrophotometric
5	Flourida	Mg/l	1.5	0.96	Spectrophotometric
6	Nitrat	Mg/l	10	1.6	Spectrophotometric
7	Nitrit	Mg/l	1.0	0.04	Spectrophotometric
8	Sulfat	Mg/l	400	9	Spectrophotometric
9	Seng	Mg/l	15	1.38	Organoleptic
10	pH	Mg/l	6.5-9.0	7.6	Electrometric

Berdasarkan analisa kualitas air tanah bersih yang diperiksa pada titik-titik lokasi tersebut bahwa air tanah pada lokasi tersebut memenuhi syarat kesehatan untuk dikonsumsi.

BAB 4

PENUTUP

Mengingat bahwa peran air tanah merupakan salah satu sumberdaya alam yang berfungsi untuk mendukung kehidupan maupun aktivitas pembangunan untuk memenuhi kebutuhan air baku bagi penduduk, baik untuk air minum, rumah tangga, air irigasi maupun air untuk industri maka eksplorasi dan eksploitasi air tanah perlu dilakukan. Peran air tanah yang cukup penting tersebut jika tidak terpenuhi maka akan menimbulkan berbagai masalah.

Buku ini membahas hubungan struktur geologi terhadap sistem air tanah di suatu daerah yang diharapkan dapat menjadi suatu metode pencarian air tanah di daerah-daerah dengan karakteristik air tanah yang langka, dan diharapkan menjadi suatu rancangan dasar dalam pembuatan rencana eksplorasi dan eksploitasi yang memungkinkan dalam pemanfaatan air tanah yang sustainable.

DAFTAR PUSTAKA

- Adji, T. N., Santosa, L. W., Murwanto, H., Marwasta, D., Sulaswono, B., 2005, Teknik Inversi Modelling Untuk Pendugaan dan Proses Hidrogeokimia Air Tanah Pada Berbagai Kondisi Akuifer, Laporan Penelitian, Fakultas Geografi, Lembaga Penelitian UGM, Yogyakarta.
- Arsyad S., 2010, Konservasi Tanah dan Air, IPB, Bogor.
- Asdak, C., 1995, Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Asmaranto, R., 2012, Identifikasi Air Tanah (Groundwater) Menggunakan Metode Resistivity (Geolistrik with IP2WIN Software), E-book Learning, MK Hidrogeologi, Jurusan Teknik FT-Universitas Brawijaya.
- Aziz, N., 2000, Geologi Fisik, Bandung, ITB.
- A. Djaeni, 1982, Peta Hidrogeologi Indonesia, Skala 1 : 250.000, Direktorat Geologi Tata Lingkungan.
- Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Kabupaten Gunungkidul, 2011, Publikasi Data Spasial, *bappeda.gunungkidul.go.id*, Yogyakarta: Bappeda Gunungkidul.
- Bahagiarti K., Sari, 2004, Mengenal Hidrogeologi Karst, Yogyakarta: Pusat Studi Karst LPPM UPN “Veteran” Yogyakarta.
- Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Gunungkidul, 2015, Gunungkidul Dalam Angka 2015, Yogyakarta: Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Gunungkidul.
- Bhattacharya, P. K and Patra, H. P., 1968, Direct Current Geoelectrical Sounding, Elsevier Publishing, India.
- BSN, 2005, Penyelidikan Potensi Air Tanah, Skala 1:100.000 atau Lebih Besar, Standar Nasional Indonesia, 13-7121,
- BSN, 1999, Penyusunan Peta Geomorfologi, Standar Nasional Indonesia, 13-6185.
- BSN, 1998, Penyusunan Peta Geologi, Standar Nasional Indonesia, 13-4691.

- Cosgrove, J.W. and M.S. Ameen, 2000, A Comparison of The Geometry, Spatial Organization and Fracture Patterns associated with forced folds and buckle folds, Geological Society Special Publication No.169, London, pp. 7-21.
- Dinas PUP-ESDM, 2016, Penyusunan Peta Geometri Cekungan Air Tanah dan Peta Zona Konservasi Air Tanah di Kabupaten Gunungkidul Daerah Istimewa Yogyakarta, Pemerintah Daerah Istimewa Yogyakarta.
- Effendy, Idham, 2010, Karakteristik Mata Air Pada Lingkungan Pembentukan Batuan Metamorf Di Pegunungan Lingga, Pulau Lingga, Kepulauan Riau.
- Fetter, Charles Willard, 1994), Applied Hydrogeology, Third Edition. Prentice-Hall, Inc. Macmillan.
- Hamblin, W. Kenneth and Eric H. Christiansen, 2009, Earth's Dynamic System, Tenth Edition, Prentice Hall College Div.
- Harding, T. P., Wilcox, R. E., Seely, D. R., 1973, Basic Wrench Tektonics, American Association of Petroleum Geologist Bulletin.
- Hendri, S., 2008, Peta Cekungan Air Tanah Provinsi Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta, Skala 1 : 250.000, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Bada Geologi, Pusat Lingkungan Geologi.
- Howard, A. D., 1967, Drainage Analysis in Geologic Interpretation, American Association of Petroleum Geologists. Bulletin, Vol.51, No.11, California.
- Hutagalung, R. & Erwin Bakker, 2013, Indetifikasi Jenis Batuan Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Schlumberger Dalam Perencanaan Pondasi Bangunan Di Terminal Transit Desa Passo, Prosiding FMIPA Universitas Pattimura, ISBN, 978-602-97522-0-5.
- J. Kodoite, Robert, 1996, Pengantar Hidrogeologi, Yogyakarta: ANDI Yogyakarta.
- Juanda P., D. dan D. Erwin I., 2012, Hidrogeologi Umum, Bandung: Kelompok Keahlian Geologi Terapan, ITB.

- Juanda P., Deny, 2006, Tipologi Sistem Akuifer, *www.fiktm.itb.ac.id*, Bandung: Teknik Geologi ITB.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2009, Pedoman Penyusunan Rancangan Penetapan Cekungan Air Tanah, Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (Permen ESDM), No. 13 tahun 2009.
- Means, W. D., 1976, Stress and Strain: Basic Concepts of Continuum Mechanics for Geologists: Springer - Verlag, New York, 339p.
- Moench, A.F., 1984, Double-Porosity Models For A Fissured Groundwater Reservoir With Fracture Skin, *Water Resources Res.*, Vol. 20.
- Moody, J. D., Hill, M. J., 1956, Wrench-Fault Tectonic, *Bulletin of The Geological Society of America*.
- Nandi, 2006, Sumberdaya Hidrogeologi, Handouts Geologi Lingkungan (GG405), Jurusan Pendidikan Geografi Fakultas Pendidikan Ilmu Pengetahuan Sosial Universitas Pendidikan Indonesia.
- Pemerintah Daerah Istimewa Yogyakarta, 2015, Laporan Akhir Pekerjaan: Survey Investigasi Desain Sumur Bor Produksi Air tanah, Yogyakarta: CV. Sakalike Consultant.
- Pusat Sumber Daya Air Tanah dan Geologi Lingkungan, 2012, Laporan Pekerjaan: Eksplorasi dan Pelayanan Air Bersih Melalui Pemboran Air Tanah Dalam Paket SB-20, Lokasi Dusun Gojo, Desa Kedungpoh, Kecamatan Nglipar, Yogyakarta: CV. Geokarsa Drilling Contractor pada Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Pusat Sumber Daya Air Tanah dan Geologi Lingkungan, 2012, Laporan Pekerjaan: Eksplorasi dan Pelayanan Air Bersih Melalui Pemboran Air Tanah Dalam Paket SB-20, Lokasi Dusun Jember, Desa Natah, Kecamatan Nglipar, Yogyakarta: CV. Geokarsa Drilling Contractor pada Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Prasetyadi, C., Ign. Sudarno, V.B. Indranadia dan Surono, 2009, Pola dan Genesa Struktur Geologi Pegunungan Selatan,

- Provinsi D.I. Yogyakarta dan Provinsi Jawa Tengah, Jurnal Sumber Daya Geologi Vol.19 No.3 Juni 2009, pp. 235-252.
- Rickard, M. J., 1972, Classification of Translational Fault Slip: Geological Society of America.
- Rodhi, A., Edi Indrajaya, C. Prasetyadi, Jatmiko Setiawan and Puji Pratiknyo, 2016, Fractures Control of Groundwater Aquifer Configuration at Baturagung Volcanic Range, A Potential New Geosite of Gunung Sewu Geopark, In Regionla Geoheritage Conference 2016 the 9th Indonesia-Malaysia Conference, 24-25, Yogyakarta.
- Santoso, L.W. dan Adji T.N., 2006, Penyelidikan Potensi Air tanah: Cekungan Air tanah Sleman – Yogyakarta di Kabupaten Bantul, Laporan Penelitian, Yogyakarta: Fakultas Geografi UGM Yogyakarta.
- Santoso, Djoko, 2002, Pengantar Geofisika, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Sumarto, C. D. (1995) : Hidrologi Teknik, Erlangga, Jakarta
 Sosrodarsono, S. Dan T. Takeda (1976) : Hidrologi Untuk Pengairan, Bandung, Pradnya Paramita.
- Singhal, B.B.S. dan R.P. Gupta., 2010, Applied Hydrogeology of Fractured Rocks, Second Edition, New York: Springer Dordrecht Heidelberg London.
- Suharyadi, 1984, Geohidrologi (Ilmu Air Tanah), Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.
- Suppe, John, 1985, Principles of Structural Geology, Department of Geological & Geophysical Science, Princeton University. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Telford W., Sheriff, 1982, Applied Geophysics, Cambridge, Cambridge University.
- Thomas Triadi Putranto, 2011, Aplikasi Pemodelan Aliran Air Tanah Dalam Konsep Pengelolaan Air Tanah Berbasis Cekungan, Proceeding Olimpiade Karya Tulis Inovatif.
- Todd, David K., 1980, Groundwater Hydrology, New York: John Wiley and Sons.

- Todd, David K. & Larry W. Mays, 2005, *Groundwater Hydrology*, Third Edition, New York: John Wiley and Sons.
- Twiss, R. J. and Moores, E. M., 1992, *Structural Geology*: W. H. Freeman and Company, New York.
- Twiss, R. J. and Moores, E. M., 1992, *Tectonics*: W. H. Freeman and Company, New York.
- U. S. Geological Survey (USGS), 2000, Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1-Arc Second (30 meters) available at <https://earthexplorer.usgs.gov/>, was flown aboard the space shuttle *Endeavour* February 11-22, 2000.
- Van Zuidam, R. A. And Van Zuidam-Cancelado, F. I., 1979, *Terrain Analysis and Classification Using Aerial Photographs. A Geomorphological Approach*, ITC, Textbook of Photo-interpretation, ITC, Enschede.
- Verbeek, R.D.M. & Fennema, R., 1896, *Geologische beschrijving van Java en Madura*. J.G. Stemler, Amesterdam.
- Verstappen, V.H. H., 1983, *Applied Geomorphology: Geomorphological Surveys for Environmental Development*, Elsevier.
- Zeffitni, 2011, Identifikasi Batas Lateral Cekungan Airtanh (CAT) Palu, *Jurnal SMARTek*, Vol.9 No.4 November 2011, pp. 337-349.

BIODATA PENULIS



Prof. Dr. Ir. Bambang Prasthisto, M.Sc., lahir di Madiun, 23 Maret 1948. Lulus dari S1 Teknik Geologi PTPN “Veteran Yogyakarta pada 1976. Melanjutkan pendidikan S2 dan S3 pada bidang ilmu yang sama di Vrije Universiteit Brussel, Belgia dan lulus pada tahun 1988. Saat ini adalah Guru Besar di UPN “Veteran” Yogyakarta yang mengampu mata kuliah

Geologi Dasar, Geologi Struktur, Tektonika, Pemetaan Geologi, K3L dan Geokonsep. Pengalaman pengabdian kepada masyarakat dan penelitian dalam 5 tahun terakhir yaitu “Sosialisasi Geopark sebagai Pengembangan Kawasan Destinasi Pariwisata Unggulan”, “Sosialisasi Geoheritage Daerah Istimewa Yogyakarta” dan “Studi Gunungapi Purba Nglanggeran Salah Satu Situs Warisan Geologi di Gunungkidul” pada tahun 2014. Pernah menyusun dan merumuskan kebijakan publik/rekayasa sosial pada 2015 tentang “Rancangan Peraturan Menteri ESDM tentang Penetapan Kawasan Cagar Alam Geologi”.

Ir. Puji Pratiknyo, M.T., lahir di Banyuwangi, 21 Desember 1960. Lulus dari S1 Geologi UGM, Yogyakarta pada 1986. Melanjutkan pendidikan S2 di Teknik Geologi Institut Teknologi Bandung dan lulus pada 1997. Saat ini adalah dosen tetap di UPN “Veteran” Yogyakarta yang mengampu mata kuliah Hidrogeologi, Teknik Pemboran dan Eksplorasi Airtanah.



Pengalaman pengabdian kepada masyarakat dalam 5 tahun terakhir yaitu “Bintek : Pengusahaan Air Tanah (Pekalongan)”,

“Bintek : Pengusahaan Air Tanah (Berbasis CAT Purwokerto-Purbalingga, Cilacap, Kroya, Kebumen-Purworejo, Wonosobo, Karangobar, dan Subah)”, “Bintek : Pengusahaan Air Tanah (Berbasis CAT Kudus, Pati-Rembang, Watuputih)”, “Bintek : Pengusahaan Dan Permasalahan Air Tanah”, “Bintek : Konsep Eksplorasi Air Tanah”, “Bintek : Pengelolaan Air Tanah” dan “Bintek : Eksplorasi, Pemboran dan Konservasi Airtanah”. Pengalaman penelitian dalam 5 tahun terakhir yaitu “South Jambi Block PSC South Jambi Fields Hydrogeology Study (Bungin, Bungkal, & Rayun Fields), Conoco Phillips”, “Pendugaan lapisan Air Tanah dengan Metode Geolistrik (Resistivity Sounding & RES2D) di PT. Mekar Armada Jaya, Magelang, Jawa Tengah”, “Penyusunan Master Plan Conservation DANONE AQUA Site, Kecamatan Pandaan, Kabupaten Pasuruan, East Java”, “Kajian Hidrogeologi Vein Ciurug Di Unit Bisnis Prtambangan Emas, PT. Antam (Persero) Tbk, Pongkor, Jawa Barat” dan “Penyusunan Kawasan Rawan Bencana Kabupaten Paser, Kalimantan Timur”.



Ir. Achmad Rodhi, M.T., lahir di Sidoarjo, 11 Mei 1954. Lulus dari S1 Teknik Geologi PTPN “Veteran” Yogyakarta pada 1981. Melanjutkan pendidikan S2 Teknik Geologi di Institut Teknologi Bandung dan lulus pada tahun 1997. Saat ini adalah dosen tetap di UPN “Veteran” Yogyakarta yang mengampu mata kuliah Volkanologi, Geologi Struktur, Tektonika, Pemetaan Geologi, Geologi Indonesia, dan Wimaya. Pengalaman pengabdian kepada masyarakat dalam 5 tahun terakhir yaitu “Sosialisasi dan Pelatihan Tataguna dan Pengelolaan Airtanah sebagai Mitigasi Kekeringan di Kawasan Klaten Timur, Jawa Tengah” dan “Sosialisasi dan Pelatihan Penanggulangan

Bencana Gunung Kelud, Blitar, Jawa Timur”. Pengalaman penelitian dalam 5 tahun terakhir yaitu “Pemetaan Struktur Geologi Kawasan Mersing-Tanjung Balau-Tanjung Ramuna, Johor Timur, Semenanjung Malaysia Timur”, “Pemetaan Struktur Geologi Kawasan Cendering, Terengganu, Semenanjung Malaysia Timur”, “Pemetaan Struktur Permatang Kuarsa Guna Usulan Peningkatan Geopark Internasional, Kuala Lumpur, Malaysia”, “Pemetaan Struktur Lembah Kinta, Ipoh, Usulan Geopark Internasional” dan “Pemetaan Struktur Horsetail Bukit Panji Sebagai Usulan Potensi Geoheritage site, Terengganu, Semenanjung Malaysia Timur”. Saat ini sedang melanjutkan pendidikan S3 di Program Studi Geologi, UKM Malaysia.

Dr. Ir. Carolus Prasetyadi, M.Sc., lahir pada 4 November 1958. Lulus dari S1 Teknik Geologi UPN “Veteran” Yogyakarta pada 1986. Melanjutkan pendidikan S2 di bidang ilmu yang sama WVU, USA dan lulus pada 1994, serta melanjutkan pendidikan S3 di Teknik Geologi, Institut Teknologi Bandung dan lulus pada 2007. Saat ini adalah dosen tetap di UPN “Veteran” Yogyakarta yang mengampu mata kuliah



Geologi Dasar, Geologi Struktur, Tektonika dan Analisis Cekungan. Pengalaman pengabdian kepada masyarakat dalam 5 tahun terakhir yaitu “Pemetaan Permukaan Jalur Sesar Opak”, “Identifikasi dan Inventarisasi Situs-Situs Geoheritage DIY” dan “Verifikasi dan Sosialisasi Geoheritage DIY”. Pengalaman penelitian dalam 5 tahun terakhir yaitu “Pemetaan dan Identifikasi Sesar Aktif, Kabupaten Jawa Tengah”, “Surface Geological Mapping And Structural Anaysis Ngawi and Sragen Area” dan “Petroleum system dan Analysis Struktur Permukaan Daerah Gunung Tuban”. Pernah

menyusun dan merumuskan kebijakan publik/rekayasa sosial pada 2015 tentang “Perumusan Peraturan Gubernur DIY tentang Cagar Alam Geologi DIY”.



Yulian Kurnia Munandar, S.T., lahir di Balikpapan, 30 Juli 1994. Lulus dari S1 Teknik Geologi UPN “Veteran Yogyakarta pada 2017. Pernah menulis dalam beberapa even publikasi ilmiah Seminar Nasional Kebumihan XI UPN “Veteran” Yogyakarta, National Conference of Civil Engineering Ke-1 Institut Teknologi Kalimantan, Seminar Nasional Kebumihan XII UPN “Veteran” Yogyakarta, Kongres & Pertemuan Ilmiah Tahun Ke-2 Perhimpunan Ahli Airtanah Indonesia (PIT-PAAI) UGM Yogyakarta bertemakan struktur geologi dan hidrogeologi.

Muhammad Ridwan Massora, S.T., lahir di Tana Toraja, 25 Juni 1994. Lulus dari S1 Teknik Geologi UPN “Veteran Yogyakarta pada 2017. Pernah menulis dalam beberapa even publikasi ilmiah Seminar Nasional Kebumihan XI UPN “Veteran” Yogyakarta, Seminar Nasional Kebumihan XII UPN “Veteran” Yogyakarta, Kongres & Pertemuan Ilmiah Tahun Ke-2 Perhimpunan Ahli Airtanah Indonesia (PIT-PAAI) UGM Yogyakarta bertemakan struktur geologi dan hidrogeologi.

