**BAB II METODOLOGI**

Penelitian hidrostratigrafi cekungan airtanah (CAT) Bandung-Soreang secara garis besar dibagi kedalam 5 (lima) kegiatan, yakni:

1. Kegiatan persiapan.
2. Kegiatan survei lapangan.
3. Kegiatan penelitian laboratorium.
4. Kegiatan analisis data.
5. Penyusunan laporan.

**2.1 Tahap Persiapan**

Merupakan tahap penting, mengingat segala sesuatu yang diperlukan harus dipersiapkan sebaik-baiknya sebelum melaksanakan pekerjaan lapangan. Pada tahapini kegiatan yang dilakukan meliputi:

1. Pembuatan peta dasar

Peta dasar yang dibuat adalah peta topografi daerah penelitian dengan skala 1 : 25.000. untuk mengenali lokasi dan ploting titik pengamatan.

1. Studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh gambaran umum keadaan geologi dan hidrogeologi, sehingga dari gambaran tersebut dapat dengan lebih spesifik mempersiapkan segala keperluan yang akan dipergunakan. Studi literatur meliputi: morfologi regional, geologi regional dan hidrogeologi regional untuk daerah penelitian.

1. Interpretasi peta dan foto udara

Interpretasi ini dimaksudkan agar pekerjaan di lapangan lebih efisien, dapat dipersiapkanrencana lokasi pengambilan sampel, pengamataan singkapan, pengamatan pola pengaliran air, pengukuran kedudukan perlapisan batuan, serta struktur geologi yang berkembang.

1. Persiapan peralatan lapangan

Merupakan persiapan bersifat teknis dan berhubungan dengan segala sarana peralatan yang dibutuhkan di lapangan.

**2.2 Tahap Survei Lapangan**

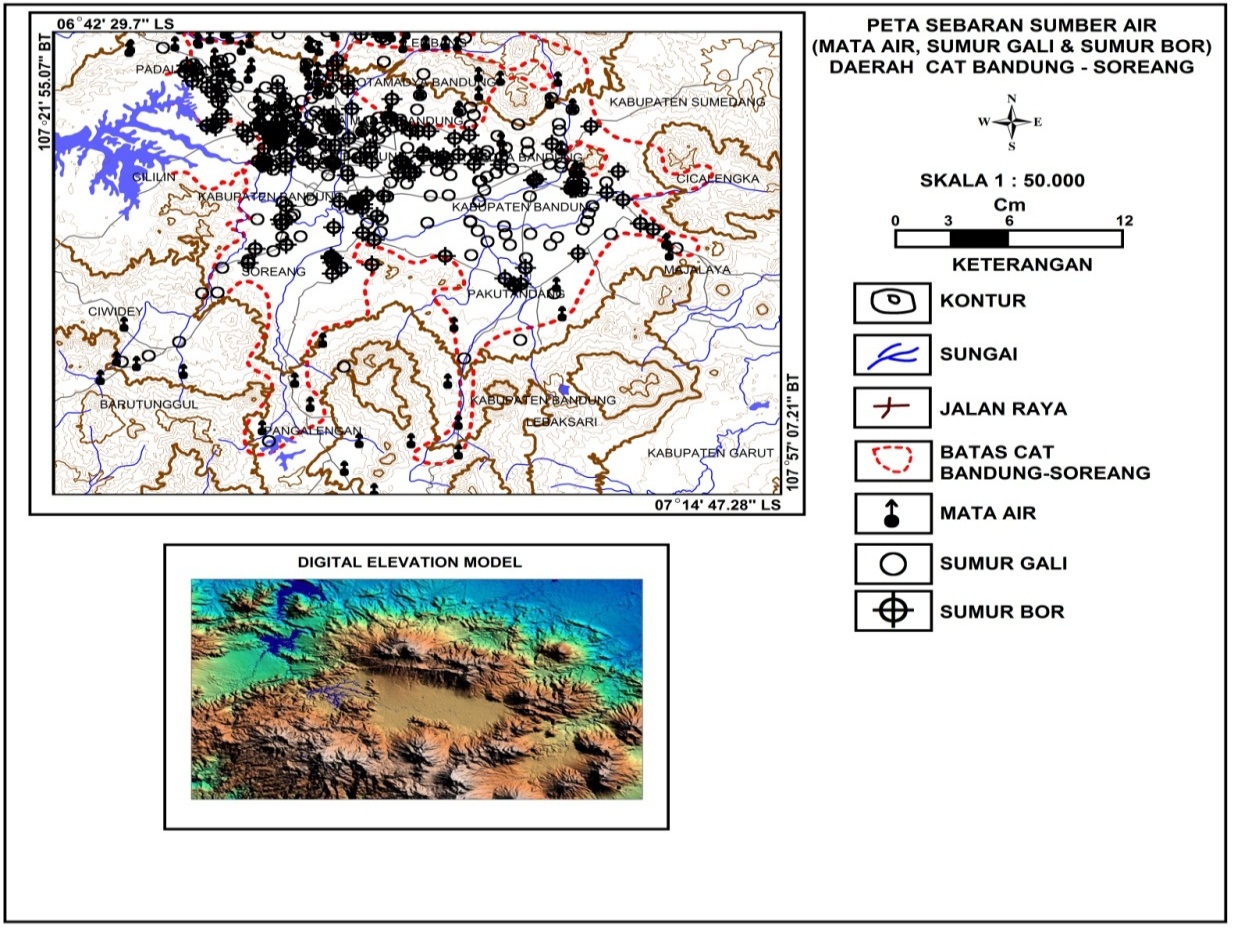
Pada tahap kegiatan lapangan dilakukan pengamatan kondisi geologi dan batuan penyusun akuifer di sekitar sumber air (mata air, sumur gali dan sumur pengeboran), pencatatan koordinat dan elevasi (x,y, dan z), pengukuran debit mata air ataupun sifat fisik-kimia airtanah. Debit (Q) mata air lebih besar dari 10 l/det diukur menggunakan metode*stream channeling,* untuk kurang dari 1 l/det, pengukuran dilakukan dengan menggunakan wadah bervolume 1 liter dan *stopwatch*. Pengukuran debit dilakukan dua kali (*duplets*) setiap pengamatan.

Sifat fisik airtanah yang diukur meliputi: temperatur udara (Tu), temperatur air (Ta), Daya Hantar Listrik (DHL), Total Padatan Terlarut atau *Total Dissolved Solids* (TDS), dan pH (tingkat keasaman). Temperatur udara diukur menggunakan thermometer air raksa standar, untuk parameter lain diukur dengan alat ukurDHL/TDS meterdan pH meter merk *Hanna Instrument* (Gambar 2.1). Untuk keperluan analisis kimia air, sampel diambil dengan botol plastik ukuran 1 liter.

|  |  |
| --- | --- |
|  | **Pengukuran dengan alat portabel (*Hanna Instrument*):**   * + Pengukuran     - pH meter: pH dan Eh (*Potensial Redoks*)     - DHL meter: temperatur, Daya Hantar Listrik, *Total Dissolved Solid*   + Prinsip kerja: Sensor (*Probe*) dimasukkan ke dalam air dan dibaca oleh monitor   + Ketelitian:     - 0,1 (pH) dan 0,1 mV (Eh)     - 0,1 oC (Temperatur)     - 0,01 mikroSiemens/cm (DHL)     - 0,01 ppm (TDS) |

Gambar 2.1 pH meter yang digunakan untuk mengukur data fisik air di lapangan

Sampel dari mata air dan sumur gali diasumsikan berada pada zona akuifer UHs 1 dan sampel dari beberapa pengeboranatau pada kisaran kedalaman muka air (40 s/d 90) meter mdpl, dan diasumsikan berada pada zonaUHs gabungan atau UHs (2 dan 3). Pengambilan sampel air dilakukan dengan menggunakan *vertical water sampler* yang terbuat dari *fiber glass* volume 600 ml.Dan lokasi pengambilan sampel adalah pada (Gambar 2.2).



Gambar 2.2Peta Sebaran Sumber Air (Mata Air, Sumur Gali dan Sumur Pengeboran) Daerah CAT Bandung – Soreang.

**2.3 Tahap Pasca Survei Lapangan**

**2.3.1 Pengujian Laboratorium Kimia Airtanah**

Uji laboratorium kimia airtanah dilakukan untuk mengetahui kandungan ion utama (Ca2+, Na+, Mg2+, K+, HCO3-, SO42-, dan Cl-)menggunakan *Standard Method Evaluation for Water and Waste Water (SMEWW)* oleh *The America Public Health Administration (APHA) tahun 1999.* Hasil analisis kimia diverifikasi dengan metode*ion balance* menggunakan (Persamaan 2.1), sebelum dilakukan analisis dan penafsiran lebih lanjut.Untuk batas *error ion balance* ditetapkan sebesar10% *(Matthess, 1981).* Contoh pengujian airtanah dengan*cation/anion balance* lebih dari 10 % dilakukan uji ulang.

*x* 100%*.....................................................*(Persamaan 2.1)

Hasil uji laboratorium dibuat analisis dan klasifikasi, penafsiran serta pengelompokan lokasi sumber airtanah dengan memanfaatkan teknik klasifikasi berbasis sifat fisik, hasil uji kimia airtanah, menggunakanmetode grafis ataupun statistik multivariabel yaitu: “diagram Piper, analisis klaster (*cluster analysis*), serta analisis komponen utama (*principal component analysis*)”. Kombinasi analisis grafis dan statistik, dapat menghasilkan klasifikasi contoh konsisten dan saling mendukung (Guller dkk.,2002). Pada analisis statistik digunakan piranti lunak *Minitab version16by Minitab Inc*., dan *Statistical Product and Sevice Solution (SPSS) version 20 by IBM.*

**2.3.2 Pengujian Isotop Airtanah**

Istilah isotop alam mulai dipergunakan pada tahun 1913 oleh Soddy Frederick untuk menerangkan *nuklida* yang menempati posisi sama dalam tabel periodik, akan tetapi berbeda massa atom. Pada tahun 1919, Francis Aston membuat *mass spekttograph* yang digunakan untuk menyelidiki berbagai massa elemen. Sebelum tahun 1925 sudah dapat diamati massa Oksigen-16, kemudian Oksigen-17, dan -18 ditemukan dalam material di alam. Pada 1931, Urey menemukan isotop Hidrogen dengan massa atom 2, kemudian disebut Deuterium (Uliana, M.M dan Sharp, J.M, 2001).

Isotop sendiri diambil dari bahasa Greek yang berarti *“isos”* adalah sama dan *“topos”* berarti tempat. Isotop selanjutnya diartikan (mengacu kepada tempat dalam tabel periodik). Yang disebut isotop dari suatu elemen atau unsur adalah, menunjukkan bahwa atom atau inti memiliki jumlah *proton* sama atau dalam hal ini nomor atom sama tapi bebeda jumlah *neutron* atau dikatakan berbeda massa atom. Dalam satuan inti Proton dinyatakan (Z) , Neutron (N) dan massa atom (A).

................................................................................... (Persamaan2.2)

Kemudian notasi dituliskan dalam bentuk :

...........................................................................................(Persamaan 2.3)

## 

## Sebagai contoh adalah Hidrogen yang memiliki 3 isotop, dengan nama dan simbol sebagai berikut.

* H disebut Hidrogen (1 proton).
* D disebut Deuterium, isotop berat dan merupakan Hidrogen stabil atau memiliki 1 proton dan 1 neutron.
* T disebut Tritium, merupakan Hidrogen radioaktif (1 proton + 2 neutron).

Isotop tersebut juga diterangkan dengan menambahkan nomor partikel dari tiap inti (yaitu proton dan neutron) dan ditempatkan pada kiri atas dari simbol suatu elemen.

Ketiga isotop tersebut dapat dituliskan menjadi **1H, 2H, dan 3H.**

e

e

e

**1p**

**2n**

**1p**

**1n**

**1**

3H”Tritiun”

2H” Deuterium”

1H” Proteum”

Gambar 2.3 Isotop Hidrogen

## Terdapat dua kelompok isotop yakni:

* Isotop stabil, tidak berubah dalam waktu, namun konsentrasinya sangat dipengaruhi oleh proses fisik dan kimia (seperti evaporasi atau kondensasi).
* Isotop tak stabil, yang meluruh terhadap waktu.

## Penamaan kelompok isotop ada pula yang menggunakan istilah:

* Isotop alam *(environtmental isotope).*
* Isotop buatan *(artificial isotope).*

Isotop alam yang paling umum digunakan dalam hidrogeologi dan dimanfaatkan dalam berbagai penelitian adalah isotop stabil Deuterium (2H),Oksigen-18 (18O) dan molekul radio isotop Tritium (3H).

Dalam siklus hidrologi terjadi proses evaporasi dari air permukaan, kemudian mengalami proses kondensasi dan jatuh sebagai air hujan, selanjutnya sebagian mengalir di permukaan dan sebagian meresap ke dalam tanah melalui proses infiltrasi, menjadi aliran airtanah.

Selama proses evaporasi, terjadi proses fraksinasi isotop 2H dan 18O pada susunan molekul H2O, menyebabkan komposisi isotop 3H dan 18O dalam uap menjadi lebih landai*(depleted)* terhadap air asal, kondensasi menjadi lebih kaya*(enrich)*.Fase uap akan terus terkondensasi dan makin lama akan makin landai.

Air hujan yang meresap ke dalam tanah, selama tidak mengalami penguapan maka komposisi isotop 2H dan 18O tidak berubah. Dalam siklus hidrologi tingkat perubahan komposisi isotop 2H dan 18O melalui fraksinasi dipengaruhi suhu udara dimana fraksinasi tersebut berlangsung.

Di alam perbedaan suhu udara dapat terjadi akibat perbedaan parameter geografis seperti *altitude*, *latitude* dan jarak dari pantai. Phenomena lain yang dapat mempengaruhi perbedaan komposisi isotop 2H dan 18O dalam presipitasi adalah intensitas presipitasi atau tinggi curah hujan yang terjadi pada selang waktu tertentu. Fenomena yang mempengaruhi tersebut dikenal dengan *altitude effect*, *latitude effect,* dan *amount effect*.

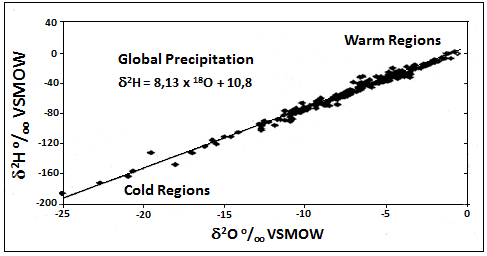
Berdasarkan fenomena tersebut maka komposisi isotop 2H dan 18O (isotop berat) dari presipetasi yang terjadi pada lokasi berbeda akan mempunyai komposisi isotop berbeda juga. Komposisi isotop yang bervariasi tersebut apabila diplot pada koordinat δ2H terhadap δ18O pada air tawar menunjukkan persamaan:

δ2H = 8 δ18O + 10 0/00  SMOW (Craig, 1961 .........................(Persamaan 2.4)

Berdasar hasil monitoring atas komposisi isotop stabil terhadap air hujan seluruh dunia terbaru (IAEA – *Global Network for Isotopes in Precipitation* (GNIP)) telah mengkoreksi persamaan Craig (Gambar 2.4) menjadi persamaan:

δ2H = 8,13 δ18O + 10 0/00  SMOW (Rozanski et al.1993).

Dalam (Clark & Fritz, 1997) .........................................................(Persamaan 2.5)



Gambar 2.4 Hubungan antara 18O dan 2H dari airhujan berdasarkan sumber data network (IAEA – GNIP), dikompilasi Rozanski et al. (1993) dalam Clark & Fritz, (1997)

## a) Isotop alam dalam akuifer airtanah

Dikenal ada 3 (tiga) jenis isotop Hidrogen di alam yakni Hidrogen bermasa 1 (1H), bermasa 2 (2H) atau dikenal dengan Deuterium dan bermassa 3 (3H) atau Tritium, ketiganya mampu membentuk senyawa molekul H2O. Kelimpahan atom (2H) atau D di alam terhadap (1H) adalah antara (1.5 – 2) 10-4 tergantung pada berat jenis air bersangkutan.

Tiga jenis isotop Oksigen yang ada yakni Oksigen bermassa atom 16 (16O), Oksigen bermassa atom 17 (17O) dan Oksigen bermassa 18(18O). Kelimpahan (17O) adalah 1/10.000, dan (18O)adalah 1/250, masing-masing terhadap (16O).

Oleh karena itu ada berbagai kemungkinan komposisi isotop stabil penyusun molekul air yaitu H216O, 2H216O, H217O, 2H217O, H218O, H2H18O dan2H218O. Dari ke-9 kemungkinan komposisi tersebut yang terpenting dalam kaitan ketelitian analisis selain H216O adalah H2H16O dan H218O.

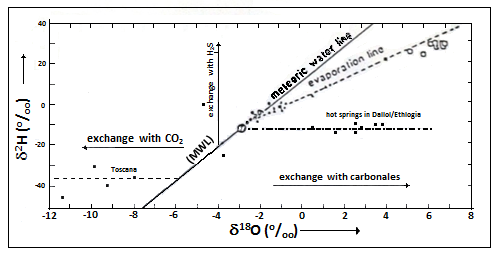
**b) Isotop stabil 18O dan D**

Komposisi isotop dalam air di alam dinyatakan dengan suatu nilai harga selisih relatif terhadap standar yaitu *Standard Mean Ocean Water (SMOW*) dan dinyatakan dalam hubungan.

**δ = x 1.000 o/oo**..................................................................(Persamaan 2.6)

Nilai **δ** dinyatakan dalam per mil dan dikenal dengan nilai delta *(delta value)*, Rs adalah rasio isotop 2H/H atau 18O/16O dari standar. Untuk kepentingan kalibrasi dipergunakan standard IAEA yaitu *standard mean ocean water (SMOW*) yang menetapkan nilai δ18O dan nilai δD = 0.0o/oo.  Atau *standard liquid antartic presipitat*ion (SLAP) yang menggunakan nilai δ18O dan nilai δD di alam sebagai koreksi, dimana δ18O = - 55.5o/oo dan δD = - 42.85o/oo terhadap SMOW. (Gambar 2.5).

Harga positif dari δ menunjukkan bahwa sampel air mempunyai komposisi isotop lebih besar dari standar *(enrich*), sebaliknya harga negatif menunjukkan bahwa sampel mempunyai komposisi isotop lebih kecil dari komposisi standar *(depleted).*

**

Gambar 2.5 Global Meteorik Water Line (Geyh, 1991)

Isotop alam yang dianalisis: isotop stabil 18O, 2H.,dan 3H.

1. Analisis 18O dan D dilakukan menggunakan Spektrometer massa (*Siera 9 vs Isogas).*
2. Analisis 2H dilakukan dengan pengkayaan dan dicacah menggunakan *liquid scintillation analizer* (*LSA)*.
3. SLAP : *standard liquid antartic preciptation*

*Standard* 18O = - 55o/oo

D = - 24 o/oo

Kegunaan: 18O dan D

* Untuk mengetahui asal usul air (ketinggian topografi).
* Untuk mengetahui daerah resapan (*rechange*).
* Arah aliran *liquid* bawah tanah (intrusi air laut).

**vacum**

* H2O + Zn → H2**↑**+ ZnO (selama 40 menit)

**4500C**

H2 ↑diionisasi 2H2 + dan 3(HD + H3) → HD+

Air Hujan

- D = 8.16O + 10 (meteorik air Global) SLAP MGL.

* D = 8.18O + 16 Jakarta *Working Standard* (JAWS).

Pengukuran rasio relatif isotop 18O dan D dengan menggunakan *Spektrometer Massa* (MS). Dihitung dalam bentuk perbedaan relatif rasio massa (δ) sampel terhadap standard (o/oo).

* = (δx/ δstd - 1)x 1000 o/oo .................................................(Persamaan 2.7)

Untuk kalibrasi dibuat standar SMOW

* 18O = 0.0 o/oo
* D = 0.0 o/oo
* 18O = -5.5 o/oo
* D = 428 o/oo nilai terkecil terhadap SMOW

Deutrium (D) δmsDs  = x 1000 o/oo ...(Persamaan 2.8)

18O →=δ18O x 1000 o/oo..................(Persamaan 2.9)

Sampel air diklasifikasikan berdasarkan kedalaman akuifernya, masing-masing diambil menggunakan *vertical water sampler,*yang terbuat dari *fiber glass* volume 600 ml.

Hasil dan pembahasan diawali dengan melihat korelasi antara kedua isotop dimana pada dasarnya mengikuti GMWL namun mengalami perubahan gradien garis meteorik lokalnya, atau dikenal dengan nama *local meteoric water line* (LMWL).

* **Metodepengujian dan analisis (18O)**

Untuk menentukan komposisi (18O), dalam contoh air digunakan metode*EPSTEIN* dan *MAYED*A, yaitu dengan mengukur gas CO2 hasil reaksi kesetimbangan pertukaran isotop H2O cair dengan CO2. Sampel direaksikan dengan gas CO2 sebanyak 2 ml, diaduk selama 8 jam dan diketahui reaksi yang terjadi sebagai berikut :

**H218O + C16O2 H216O + C16O18O**...(Persamaan 2.10)

(cair) (gas) 8 jam (cair) (gas)

Reaksi dilakukan dengan *ISOPREP-18* secara otomatis, dengan setiap batas berisi 24 sampel termasuk standar kerja. Gas CO2 hasil keseimbangan dilakukan pengukuran dengan menggunakan *spektrometer massaSIRA – 9* secara simultan dan berurut, *on-line* dengan *ISOPREP-18* dan secara otomatis menggunakan pengendali komputer.

Hasil pengukuran akan berupa ratio isotop 18O/16O terhadap *spektrometer massa*, dan selanjutnya dikoreksi terhadap SMOW. Hasil analisis komposisi 18O dinyatakan dalam satuan per mil **(0/00)** SMOW.

* **Metode pengujian dan analisis Deuterium (2H)**

Analisis Deuterium (2H) dilakukan dengan cara mereaksikan contoh air sebanyak 10 ml dengan Zn aktif seberat 0,25 gram pada temperatur 4500C selama 30 menit.

Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :

**450o**

**H2O + Zn ZnO + H2**...................(Persamaan 2.11)

(cair) (padat) (padat) (gas)

Contoh airtanah yang diambil dari lapangan,dijaga agar tidak terjadi penguapan, dengan cara menutup botol kedap udara, dengan harapan nilai komposisi Deuterium tidak mengalami pengayaan akibat penguapan selama di dalam perjalanan ataupun selama penyimpanan.

Untuk memperoleh gas H2 dilakukan di laboratorium dengan cara *manual* menggunakan rangkaian vakum tingkat tinggi. Hasil gas H2 selanjutnya di analisis dengan menggunakan *spektrometer massa* kolektor ganda merk. VG-Isogas, hasil pengukuran berupa 6 isotop yang merupakan rasio isotop (2H/1H).

Dari hasil ini selanjutnya dilakukan perhitungan dengan program komputer untuk memperoleh nilai Deuterium terhadap SMOW.

**c) Isotop Tritium (3H)**

Tritium merupakan unsur Hidrogen bersifat radioaktif, memiliki waktu paruh 12,4 tahun dan memancarkan radiasi dengan energi rendah (Emax = 18 ke-V). Komposisi Tritium dalam air di alam dinyatakan dalam rasio isotop dengan terminologi Tritium Unit (TU), dimana 1 TU adalah rasio 3H/1H = 10-8..Tritium alam di atmosfer merupakan interaksi sinar kosmik yang menghasilkan neutron, kemudian bereaksi dengan atom Nitrogen di atmosfer (16N + n 3H + 12C). Estimasi terhadap komposisi Tritium dalam air hujan bervariasi antara (4 – 20) TU, tergantung dari lokasi dan posisi geografis.

Sesuai data pada literatur, komposisi Tritium di belahan selatan bumi lebih kecil dibanding di belahan utara, posisi ini dijumpai di airhujan yang meresap ke dalam tanah dan aktivitasnya akan berkurang sesuai dengan waktu paruhnya.

Komposisi Tritium alam dalam air biasanya sangat kecil, sehingga perlu dilakukan pencacahanmenggunakan sintilasi cair untuk komposisi Tritium dan contoh yang akan diukur perlu dilakukan pengkayaan.

Proses pengkayaan komposisi Tritium dilakukan dengan teknik elektrolisa. Pada satu unit elektrolisa sekaligus dapat dipasang 16 buah sel elektrolisa. Dalam rangkaian tersebut arus listrik dialirkan ke sel yang telah terisi sampel melalui suatu elektroda yaitu anoda terbuat dari nikel dan katoda dari besi.

Elektrolisa dilakukan dalam suatu bak, berisi campuran *etilen glicol* dan air untuk mempertahankan suhu udara antara -1oC sampai 1oC agar selama berlangsungnya elektrolisa sampel tidak mengalami penguapan.

Proses berlangsung 200 jam terus menerus sampai sampel yang semula seberat 600 gram menjadi sekitar 20 gram kemudian dilakukan destilasi. Air destilat ini kemudian dicacah kandungan Tritiumnya dengan alat pencacah sintilasi air, hasil pencacahan dibandingkan dengan hasil pencacahan standar, sehingga komposisi Tritium dalam sampel diketahui.

* **Cara preparasi Tritium (3H)**

1. Diambil volume 300 cc untuk diperkaya (destilasi) sampai menjadi 1 liter.
2. 16 cc dinetralisir dengan Na2O2 → mengurangi korosif dialiri CO2 → akan diperolehat Na2CO3.
3. Destilasi Na2CO3 → 10 cc + instagel.
4. 10 cc dihitung dalam LSA → Nilai 3H.

Pada kondisi normal 3H di alam = (4 – 6) TU. Biasanya memakai standar SMOW (*standard mean ocean water*) = 0

3H → 1 – 5 TU termasuk nilai air hujan

* **Hasilnya:**
* Menghitung umur = T = (T1/2/0.693 ) ln(Co/Ct).......... (Persamaan 2.12)
* Mengetahui asal ketinggian air.

dimana:

* T : umur (th). T1/2 = waktu paruh Tritium = 12, 43 th
* Co : 4 – 6 TU
  + Ct : harga Tritium yang dianalisis

**2.4 Analisis dan Pengolahan Data Kimia Airtanah**

**2.4.1 Analisis Statistik Multivariabel (Analisis Diagram Piper, Analisis Klaster dan Analisis Komponen Utama)**

Perubahan sifat fisik dan kimia airtanah secara umum dapat dideteksi melalui perubahan komposisi unsur utama pembentuk batuan akuifer, sehingga akan cukup mudah dibuat analisis dengan menggunakan diagram Piper.

Unsur-unsur kimia airtanah yang dipergunakan pada analisis adalah kelompok ion utama (*major element*). Merupakan unsur utama pembentuk batuan dan tentu paling banyak dikandung dalam airtanah. Berbagai rujukan mengenai evolusi dan perilaku hidrokimia airtanah telah dipelajari, diantaranya Hem (1980), Drever (1988), dan Chebotarev (1955) *op.cit* Domenico dan Schwartz (1990).

Dinyatakan oleh Drever (1988), salah satu proses yang dapat meningkatkan salinitas airtanah adalah reaksi dengan halit, sejenis evaporit laut yang menjadi sumber ion Na dan Cl. Proses evolusi hidrokimia oleh Chebotarev (1955) *op.cit*Domenico dan Schwartz (1990) dinyatakan sebagai suatu proses yang berawal dari fasies bikarbonat dekat kawasan imbuhan kemudian berevolusi menjadi dominan sulfat, sejalan dengan alirannya ke arah kawasan peturasan. Komposisi akhir dari proses ini didominasi oleh Klorida sebagai hasil reaksi dengan berbagai jenis mineral dengan waktu tinggal di batuan yang relatif lama.

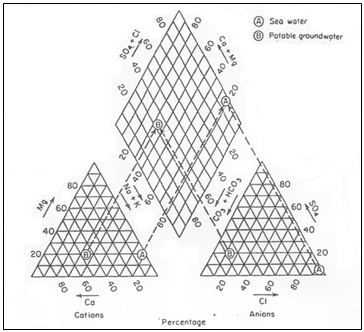
Pendapat lain dari Uliana dan Sharp (2001) menyatakan, bahwa data hidrokimia melintas sebagai aliran airtanah dan menunjukkan peningkatan nilai TDS dan rasio Cl/HCO3 serta penurunan rasio Na/Cl, airtanah akan merepresentasikan bahwa air imbuhan telah mengalami perubahan disebabkan pelarutan mineral dan pertukaran kation.

Pada zona sulfat dan klorida, fasies hidrokimia airtanah dikendalikan oleh gas H2S dan HCl, atau mineral yang terbentuk oleh pelarutan endapan gipsum, anhidrit, halit, serta pertukaran kation.

## Metode analisis grafis

Metode grafis di disain dapat memperlihatkan proporsi relatif ion utama pembentuk batuan (Hem, 1989), namun demikian metode grafis hanya dapat memperlihatkan parameter secara menyeluruh dalam jumlah terbatas.

Diagram Piper (1944) merupakan metode grafis yang paling sering digunakan (Gambar 2.6), memberikan gambaran konsentrasi relatif kation dan anion utama pembentuk batuan pada dua plot diagram segitiga. Bagian tengah diantara dua segitiga, terdapat sebuah plot segiempat tempat setiap titik data dari dua segitiga sebelumnya diproyeksikan, sehingga memperlihatkan karakteristik kimia airtanah di suatu daerah penelitian (Guller dkk., 2002).



Gambar 2.6 Contoh diagram Piper (1944) untuk analisis fasies airtanah

## MetodeAnalisis Statistik Multivariabel

Statistik multivariabel dapat membantu analisis data set yang kompleks. Dengan menggunakan metode ini memungkinkan untuk menyelidiki hubungan diantara banyak variabel yang kompleks agar menghasilkan kesimpulan lebih menyeluruh (Wulder, 2008). Sebagai bahan dasar untuk analisis tersebut, set data terdiri dari variabel dan kasus data yang disusun dalam bentuk matriks kolom dan baris dengan jumlah kasus (baris) dua kali lipat lebih banyak dibanding jumlah variabel (kolom) (Tabachnick dan Fidell,2006).

Tujuan penerapan metode ini adalah untuk dapat melakukan identifikasi secara baik, proses yang mengontrol evolusi dan perilaku kimia airtanah di daerah penelitian. Metode statistik yang digunakan terdiri dari *hierarchical cluster analysis* (HCA) selanjutnya disebut analisis klaster dan *principal components analysis* (PCA) selanjutnya disebut analisis komponen utama. Kedua metode ini diharapkan dapat menguraikan kendali geologi dan hidrogeologi terhadap perilaku hidrokimia airtanah pada bebatuan yang dilewati aliran airtanah.

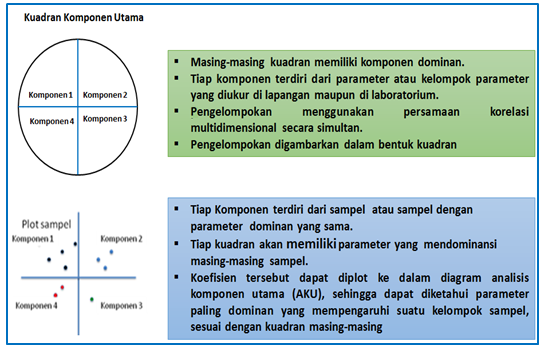
Melloul dan Collin (1992) telah menggunakan analisis komponen utama untuk mendukung metode geokimia klasik dengan diagram *Schoeller*atau *Piper*. Dengan kedua jenis grafik tersebut, peneliti berusaha dapat melakukan idenfitikasi dengan baik karakteristik utama air berdasarkan komposisi kimia. Peneliti lain, Schot dan Van Der Wal (1992),menerapkan analisis komponen utama dan analisis klaster untuk melakukan analisis data hidrokimia dalam usaha melakukan identifikasi perilaku hidrokimia airtanah akuifer CATBandung-Soreang.

Metode statistik multivariabel dapat diterapkan untuk melacak sumber unsur kimia airtanah sebagaimana dilakukan oleh Farnham dkk (2003).Seluruh penelitian tersebut menyatakan bahwa analisis statistik secara signifikan dapat membantu pengelompokkan airtanah dan melakukan identifikasi mekanisme dominan yang berpengaruh terhadap komposisi kimia airtanah. Kombinasi interpretasi hidrokimia, pemahaman mengenai kondisi geologi, dan metode statistik, dapat membantu melakukan analisis pola pengaliran airtanah pada suatu sistem akuifer (Farnham dkk., 2003; Cloutier dkk., 2008).

### Analisis Komponen Utama

Analisis komponen utama merupakan salah satu teknik untuk melakukan klasifikasi data yang dilakukan secara simultan, dapat dimanfaatkan untuk melakukan identifikasi pola dan struktur data serta menampilkan kesamaan maupun perbedaan dalam bentuk grafik (Guller dkk., 2002 dan Davis, 1986).

Analisis ini sering digunakan dalam ilmu kebumian untuk melakukan klasifikasidata hidrogeokimia (Steinhorst dan Williams, 1985, Schot dan Van Der Wal, 1992 dan Guler dkk., 2002). Jumlah komponen terpilih untuk dilakukan analisis ditetapkan tiga komponen, berdasarkan *Kaiser criterion* dengan *eigenvalue* lebih besar dari satu (*StatSoft Inc*., 2011).Metode ini sangat bermanfaat untuk melakukan evaluasi kesamaan dan perbedaan maupun dominasi kumpulan data. Kemampuan lain dari analisis komponen utama adalah mengidentifikasi kecenderungan dominasi kelompok data (Smith, 2002).Prosedur dan hasil yang dilakukan dalam analisis dapat diikuti sebagaimana pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Prosedur dan Analisis melakukan Analisis Komponen Utama

### Analisis Klaster

Cara statistik lain yang digunakan adalah *hierarchy cluster analysis* (HCA) atau analisis klaster. Menurut Smith (2002), ada tiga tahap dalam analisis ini:

1. Penyaringan terhadap data pengganggu (*noise*) berupa data berpola acak (*outliers*), dapat berupa kesalahan pengukuran dan dapat mempengaruhi hasil analisis, sehingga harus dikeluarkan dari analisis.
2. Pemilihan jenis antara klaster, dapat berupa jarak (*distance measuring*) atau derajat kesamaan (*degree of similarity*).
3. Kriteria peng-klasteran. adalah *nearest neighbour*(data terdekat) dan *furthest neighbour*(data terjauh).Pertama menggunakan titik data terdekat dengan titik data yang sedang diukur sebagai referensi. Kedua menggunakan titik data terjauh sebagai referensi.

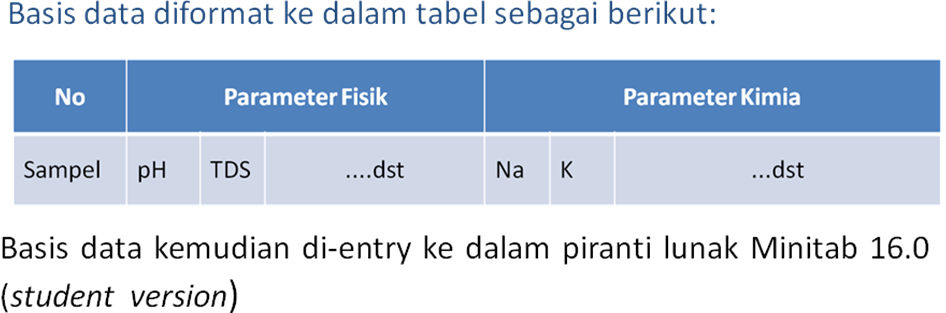
## Tabel 2.1 Daftar teknik statistik dan grafis yang dipakai mendukung penyelesaian klasifikasi kimia Airtanah berdasar (Guller.dkk, 2002)

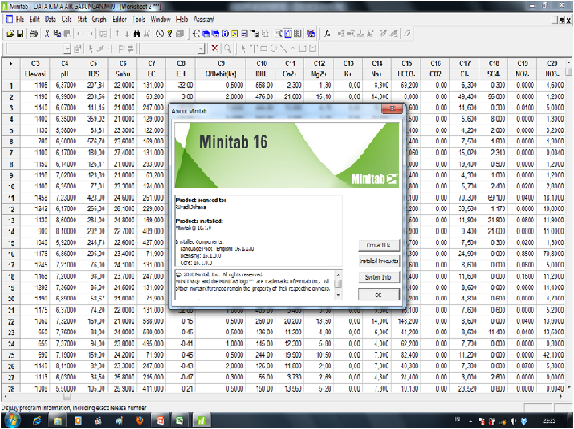
|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| ***Method*** | ***Cations used*** | ***Anions used*** | ***Other parameter*** | ***Input data and plotting units*** |
| * Cluster anyalisis (HCA and KMC) | All major minor and trace elemnts | All major minor and trace elemnts | All aplicable para-meter Yes (1) or no (0) statements, discrete variable. | Input z-score of the log- transformed data Output distance matrix (KMC) and dendogram (HCA). |
| * Principal omponent Anaylisis (PCA) | All major minor and trace elemnts | All major minor and trace elemnts | All aplicable para-meter Yes (1) or no (0) statements, discrete variable. | Input z-score of the log- transformed data  Output PCA scores |
| * Fuzzy k– means Clustering (FKM) | All major minor and trace elemnts | All major minor and trace elemnts | Some as above | Input same as above matrixs Output membership Relative % meq L-1 |
| * Piper Diagram | Na+K, Ca, Mg | Cl, SO4 | n/a | Relative % meq L-1 |
| * Collins bar diagram | Na+K, Ca, Mg | HCO3 + CO3 | n/a | Relative % meq L-1 or meq L- |
| * Pie diagram | Na or (Na+K), Ca, Mg, Fe | Cl, SO4, HCO3 or (HCO3 + CIO3) | n/a | Relative % meq L- |
| * Stiff Pattern Diagram | Na+K, Ca, Mg, Fe (optional) | Cl, SO4, HCO3 + CO3 (optional) | n/a | Meq L-1 |
| * Schoeller semi-Logaritmic diagram | Na+K, Ca, Mg | Cl, SO4, HCO3 HCO3 + CO3 | n/a | Meq L-1 in Log – Scale |
| * Chernov facies | Up To 20 parameters can be plotted | | | Meq L-1 oe mg L-1 Other parameters in their respective units |

**2.4.2Analisis Data Sekunder**

**a) Penyiapan basis data hasil observasi lapangan**

Proses penyusunan data base untuk analisis data sekunder yang diperoleh dilakukan sesuai prosedur sebagaimana (Gambar 2.8 dan 2.9).





Data ratusan sampel terpilih dari berbagai tahun berbeda, diambil disatukan dalam sistem data base

Basis data disusun dengan format arah ke bawah sesuai urutan sampel dari atas ke bawah.

Kolom berisi parameter yang diukur di lapangan dan data uji laboratorium.

Basis data menggunakan piranti lunak Microsoft Excel.

Untuk analisis statistik base datadiimport ke dalam piranti lunak Minitab versi 16.0 (*student version)*

Gambar 2.8 Illustrasi Proses Penyusunan Database

**Diagram hirarkis klaster berupa dendogram**

**Klaster 2**

**Klaster 1**

* Seluruh data sampel kimia air terpilih, diproses keterkaitannya satu sama lain secara simultan (multiparameter).
* Persamaan yang digunakan adalah persamaan statistik untuk mencari jarak *Euclidean* atau *Euclidean Distance*.
* Jarak *Euclidean* merupakan jarak antara kutub komunitas sampel yang sejenis
* Sampel akan mengelompok ke dalam kutub-kutub, sesuai karakter yang mirip. Yang memiliki karakter berbeda akan membentuk kutub lain.
* Kutub-kutub yang terbentuk dikenal sebagai klaster (*cluster*)

Gambar 2.9 Proses Diagram *Hirarkis Klaster Dendogram*

1. **Analisis dan Pengolahan Data Litologi danLog Pengeboran.**

* **Korelasi Litologi**

Dalam melakukan penyusunan geometri UHs maka ada beberapa ketentuan dasar dengan mengawali korelasi log pengeboran (awal rekontruksi UHs) termasuk beberapa rujukan yang dicoba dihimpun dari beberapa literatur praktis dengan ketentuan sebagai berikut:

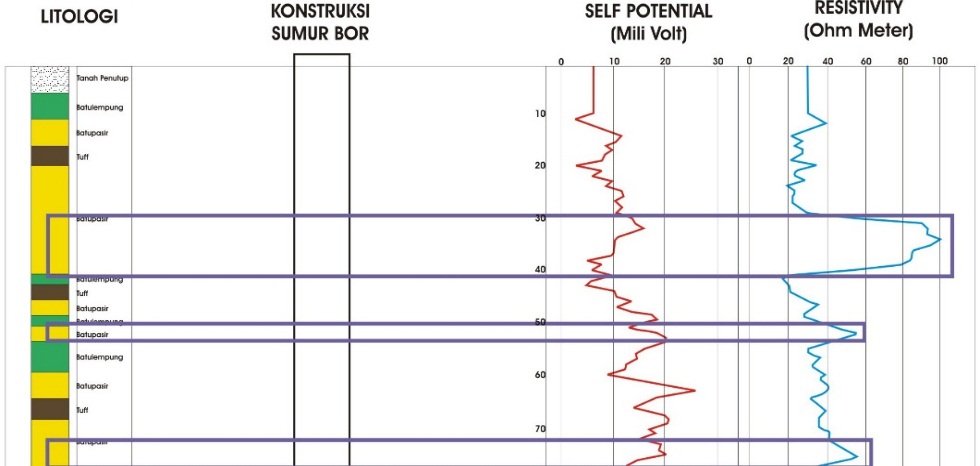
1. Memilih himpunan data pengeboran yang sesuaidan diperlukan dalam, mengevaluasi kualitas data, dan membentuk penampang melintang*(cross-section).*
2. Mendefinisikan batas-batas litologiberdasar korelasi data pengeborandisertai beberapa himpunan data uji hidrolik ataupun *well loging independent*.
3. Membuat korelasi batas-batas litologi padapenampang melintang, termasuk menyelesaikan ketidaksesuaian korelasi-korelasi litologi tiap penampang.
4. Membangun diagram pagar berdasar penampang korelasi litologi.
5. Meninjau ulang diagram pagar yang terbentuk untuk mengidentifikasi anomali-anomali dan inkonsistensi dalam korelasi.

* **Transformasi nilai porositas dan permeabilitas relatif batuan menggunakan log pengeboran**

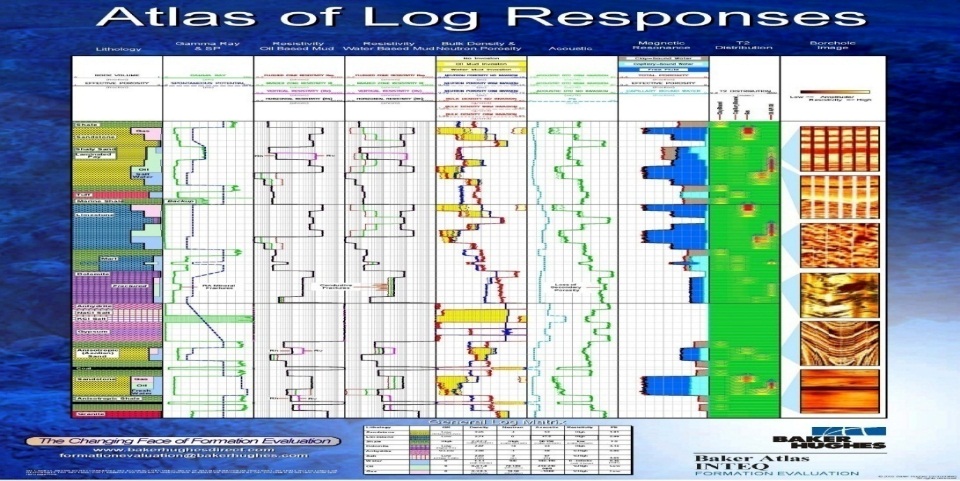
Perbandingan presentase nilai resistivitas rata-rata dan nilai densitas rata-rata batuan digunakan untuk menghasilkan asumsi nilai densitas (densitas relatif) berdasarkan nilai resistivitas pada suatu batuan, dimana hal ini dilakukan untuk mendapatkan nilai porositas relatif suatu batuan.

Hal yangdilakukan secara detil adalah sebagai berikut:

* Mengelompokkan data log resistivitas suatu sumur bor berdasarkan jenis litologi serta pola kurva log resistivitas batuan tersebut (Gambar 2.10).
* Setelah pengelompokkan pola kurva log resistivitas batuan, nilai resistivitas tiap kelompok batuan tersebut dirata-ratakan dan didapatkan nilai rata-rata setiap kelompok batuan dalam sumur bor tersebut.
* Nilai rata-rata setiap kelompok batuan digunakan sebagai perbandingan prosentase untuk memperoleh asumsi nilai densitas (nilai densitas relatif) dari setiap kelompok batuan.
* Persentase nilai diambil berdasarkan kisaran nilai log suatu batuan yang terdapat pada *atlas of log responses* dari *Baker Atlas INTEQ Formation Evaluation*, 2002. (Gambar 2.11).

****

Gambar 2.10 Pengelompokkan data log bor berdasarkan pola kurva pada pasir.

****

Gambar 2.11 *Atlas of log responses* dari Baker Atlas INTEQ Formation Evaluation.dari Baker Atlas INTEQ Formation Evaluation.

Berdasarkan "*atlas of log responses*", diketahui bahwa batuan yang mengandung fluida berupa air mempunyai prosentase nilai sebagai berikut:

1) Pasir

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Pasir | Resistivitas | Densitas |
| Nilai | 25 Ωm - 100 Ωm | 2.65 - 2.00 |
| Prosentase | 0 % - 100 % | 0 % - 100 % |
| Selisih | 75Ωm | 0.65% |

2) Tuf

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Tuf | Resistivitas | Densitas |
| Nilai | 25 Ωm - 60 Ωm | 2.45 - 2.35 |
| Prosentase | 0 % - 100 % | 0 % - 100 % |
| Selisih | 35Ωm | 0.10% |

3) *Shale* (Lempung dan Batulanau)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Shale | Resistivitas | Densitas |
| Nilai | 25 Ωm - 60 Ωm | 2.45 - 2.35 |
| Prosentase | 0 % - 100 % | 0 % - 100 % |
| Selisih | 35Ωm | 0.10% |

Setelah diketahui nilai resistivitas dan prosentase nilai resistivitas batuan tersebut maka digunakan perbandingan prosentase nilai resistivitas vs prosentase nilai densitas untuk mendapatkan nilai densitas relatif dari batuan tersebut. Sebagai contoh perhitungan maka dapat diikuti contoh berikut:

Contoh :

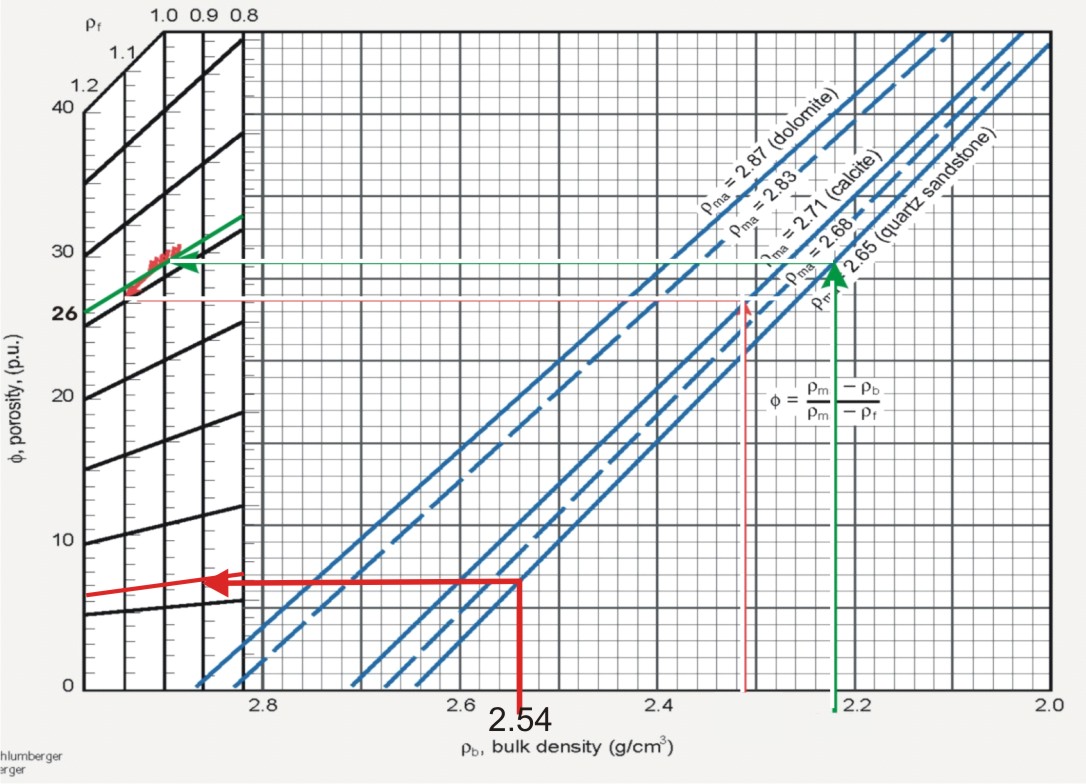
Nilai resistivitas pasir adalah 50 Ωm, maka untuk mengetahui nilai densitas relatif pasir tersebut digunakan perbandingan:

x 100% = x 100%

x 100% = 66,70%

Nilai Densitas relatif = 2,65 - 0,11

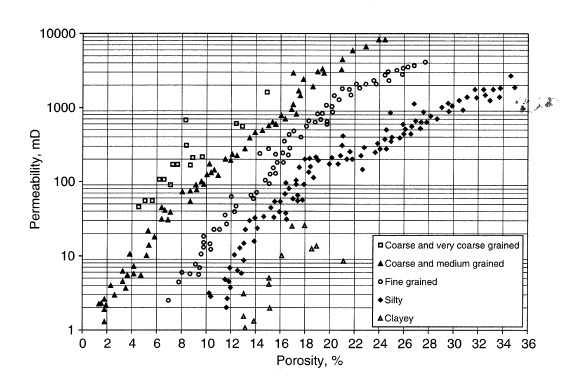
Nilai Densitas relatif = 2,54 gram/cm2

****

**6.,5**

**Nilai Porositas Relatif = 6.5%**

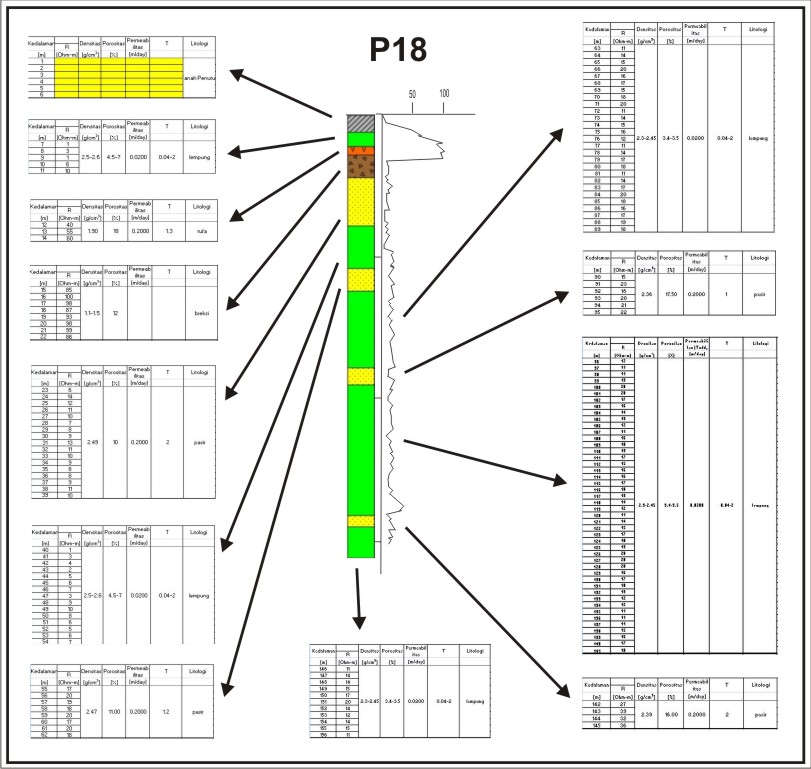
Gambar 2.12: Ilustrasi plot nilai densitas pasir untuk mendapatkan nilai porositas pada diagram *(porosity vs bulk density),* ditunjukkan garis berwarna merah.

****

**6,5**

**20mD**

Gambar 2.13: Grafik hubungan porositas dan permeabilitas untuk berbagai ukuran butiran (Chilingarian, 1963).Garis korelasi untuk material dengan butiran menengah hingga kasar

****

Gambar 2.14 Contoh tabel perhitungan dari satu log bor P.18 (Kawasan Cimahi)

Metoda untuk melakukan pendekatan nilai porositas dan permeabilitas batuan relatif dapat diikuti sesuai dengan diagram berikut (Gambar 2.14):



Gambar 2.15Diagram Alur Pendekatan Nilai Porositas dan Permeabilitas

Catatan:

* Apabila nilai resistivitas lebih besar dari nilai paling besar, maka besar nilai densitas dapat diasumsikan terletak pada nilai densitas paling kecil dalam rentang nilai batuan tersebut.
* Porositas relatif dari suatu batuan dapat diketahui berdasarkan nilai log densitas suatu batuan dengan cara memasukkan nilai densitas kedalam diagram *Formation Density Log Determination of Porosity* (*Schlumberger Log Chart*), menggunakan nilai faktor formasi adalah satu (fluida dalam batuan yang berupa air).
* Konversi yang dalam perhitungan menggunakan grafik Chilingarian, 1963 dilakukan terhadap nilai permeabilitas K (m/hari) = k (mD)#0,00074.
* Kriteria nilai parameter permeabilitas litologi yang dipergunakan dalam membuat klasifikasi sebagai akuifer – akuitar – akuiklud berdasarkan Todd, 1980 adalah sebagi berikut :

1. Kriteria akuifer (permeabilitas ≥ 0,1 m/hari) (Todd, 1980):

* Dapat meloloskan air pada litologi tersebut.
* Permeabilitasnya relatif besar.
* Litologinya berupa pasir dan tuf.

1. Kriteria akuitar (permeabilitas 0,01 – 0,1 m/hari) (Todd, 1980):

* Dapat meloloskan air dengan jumlah yang sedikit pada litologi.
* Permeabilitasnya kecil (sebagian air masih dapat diloloskan).
* Litologinya berupa breksi.

1. Kriteria akuiklud (permeabilitas < 0,01 m/hari) (Todd, 1980):

* Tidak dapat meloloskan air pada litologi tersebut.
* Permeabilitasnya sangat kecil (tidak dapat meloloskan air).
* Litologinya berupa lempung dan breksi.