KARAKTERISASI PHISIK AIRTANAH DAN IDENTIFIKASI PEMUNCULAN MATAAIR PADA AKUIFER ENDAPAN GUNUNG API

(Studi Kasus : Endapan Gunungapi Tangkubanperahu di Cekungan Bandung)

Oleh:

Bambang Sunarwan

Abstrak

Gunung Tangkubanperahu (2.064 m.apl) merupakan gunung api strato, berada di wilayah Bandung Jawa Barat, menjadi puncak batas utara cekungan Bandung. Memiliki zonasi kemunculan mata air ke arah selatan dan menempati kaki G.Tangkubanperahu, jumlah total kurang lebih 142 mata air dengan kisaran debit 1 l/s hingga 15 l/s. Kemunculan mataair memiliki tipe umum rekahan pada batuan lahar dan lava, serta tipe depresi untuk kemunculan mata air pada tanah pelapukan .
Kajian ini dimaksudkan menjadi informasi pokok untuk tujuan mengidentifikasi model hidrogeologi yang terdiri dari sistem akifer endapan gunung api dan pola aliran air di dalam tanah.

Kata-kata kunci : akuifer, volkanik,

PHISICAL GROUNDWATER CHARACTERITATION AND IDENTIFICATION SPRINGS AT THE VOLCANIC DEPOSITS.

(Subject: Volcanic deposit of Tangkubanperahu at the Bandung - Soreang)

by

BAMBANG SUNARWAN

Abstract

Tangkubanperahu mountain (2064 masl) is a strato volcano located in Bandung, is the peak of the northern boundary of the basin of Bandung . Has the appearance of springs zoning to the south and occupy G.Tangkubanperahu feet with a total of approximately 142 springs with discharge range 1 l/s . up to 15 l/sec. Occurrences springs have a common type of fracture in the lava rock and lava and types of depression on the ground for the emergence of springs and weathering

1. PENDAHULUAN

Diketahui secara hidrogeologi daerah yang dibentuk oleh hasil erupsi gunungapi dan lapukannya memiliki kontribusi besar terhadap pemenuhan kebutuhan air, khususnya bagi penduduk yang yang kian meningkat mendiami kaki gunungapi seperti halnya kota–kota besar di Indonesia: Bandung, Bogor - Jakarta, termasuk Medan, Semarang, dan Surabaya.
Secara geografi posisi daerah kajian berada pada (107° 21‘ 55.07" – 107° 57' 07.21”) BT dan (6°48' 29.70" – 7° 17' 47.28”) LS., merupakan batas kawasan CAT. Bandung–Soreang, sesuai “KEPPRES R.I. Nomor 26 Tahun 2011 tentang Penetapan Cekungan Airtanah.

Posisi dan hubungan antara daerah imbuhan (*recharge area*) dengan daerah luahan (*discharge area*), perilaku aliran airtanah serta ketebalan maupun sebaran akifer sangat menentukan aktivitas ekplorasi ataupun deliniasi kawasan konservasi airtanah.

2. ENDAPAN VOLKANIK SEBAGAI PENYUSUN AKUIFER.

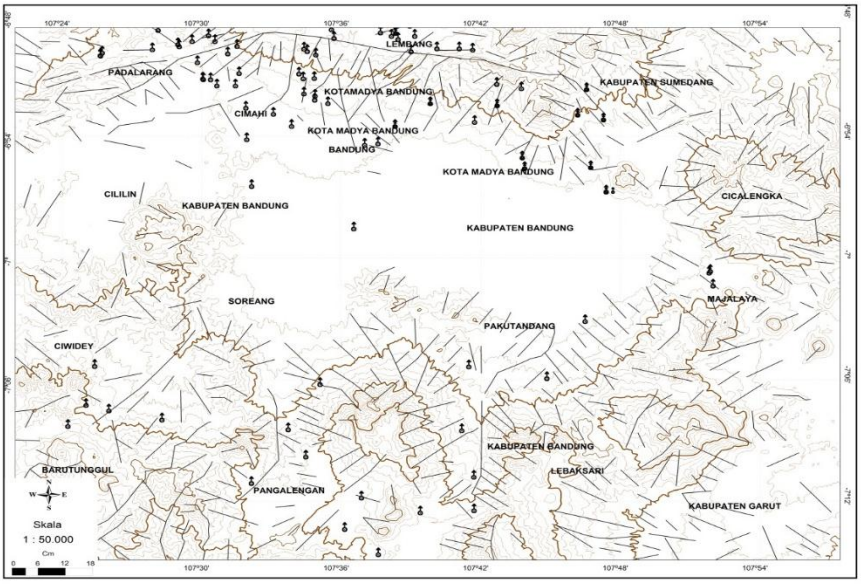
Endapan volkanik hasil erupsi gunungapi, dapat dikelompokkan menjadi beberapa fasies, yaitu gabungan/kelompok tipikal batuan yang umum muncul pada jarak tertentu dari puncak gunung api, termasuk G. Tangkubanperahu. Diantara beberapa model yang pernah ada, dikenal Model Fasies Gunung api Strato Fuego oleh Cas dan Wright (1987), dari G.Fuego di Guatemala. Berdasar model tersebut, endapan gunung api hasil erupsi Gnung Tangkubanperahu terdiri dari tiga fasies (Tabel 1)

1) Fasies Inti Gunung api (*Volcanic core*) terletak pada elevasi 3050 - 3172 m.dpl, terdiri dari andesit. Fasies ini bersifat impermeabel, tidak memiliki mata air.
2) Fasies Proksimal Gunung Api (*Volcanic Proximal Fasies*) terdistribusi pada elevasi (500-2076) m.dpl, dan terdiri dari: **2a)** Proksimal 1 di elevasi (1250 – 2076) m.dpl tersusun oleh aliran dan jatuhan piroklastik impermeable, serta fragmen andesit, matriks tuf. **2b**) Proksimal 2 di elevasi (650 – 1250) m.dpl tersusun oleh lava andesit yang umumnya mengandung rekahan. Pada fasies ini terdapat zona mata air 1 terdiri dari (78 + 45 + 19) = 142 mata air dengan total debit 178 l/det. **2c)** Fasies Distal (*Volcanic Distal Facies*) terletak pada elevasi (100 – 650) m.dpl; terdiri atas lahar permeabel, fragmen andesit tertanam di dalam matriks tuf atau pasir vulkanik. Batuan memperlihatkan rekahan dengan dimensi dan geometri tidak teridentifikasi. Pada fasies ini terletak zona mataair 2 terdiri dari 53 mata air dengan total debit 700 l/det.

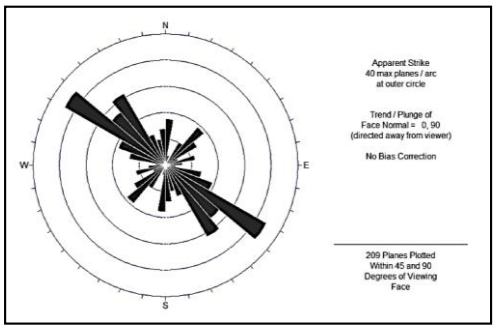
Kemunculan mata air dikontrol oleh kondisi geologi setempat, diantaranya kelerengan morfologi, kemiringan lapisan, jenis batuan, erosi permukaan, rekahan/*fracture* dan patahan

2.1. Hubungan Kelurusan Morfologi dan Kemunculan Mataair

Dalam analisis kelurusan morfologi gunungapi, dan kemunculan mata air dimanfaatkan tiga seri data, yakni pola kelurusan, ditarik dari citra *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), peta topografi skala 1:50.000, peta lokasi mata air, dan debit mata air. Target yang ingin diperoleh adalah distribusi, panjang kelurusan dan jarak tegak lurus antara titik lokasi mata air dengan kelurusan terdekat. Untuk memudahkan analisis digunakan piranti lunak *GIS Arc View version 3.3* dengan modul *Linstat*.



Gambar 1. Pola Kelurusan Teridentifikasi di CAT.Bandung-Soreang



Gambar 2. Diagram *Roset* Orientasi Kelurusan vs Jumlahnya. (Garis tebal/hitam menandai kisaran frekuensi kelurusan pada batuan gunung api).

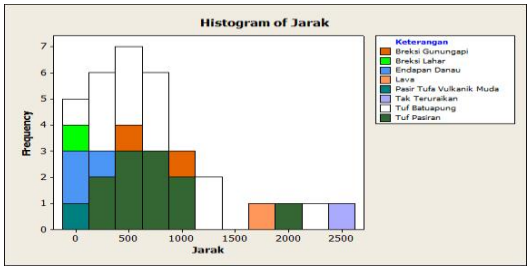
Tabel 1. Klasifikasi Kelompok Kemunculan Mataair Vs Debit mataair

Debit (liter/detik)	Jenis			Jumlah
	Depresi	**Kontak**	***Fracture***	
< 2	33	12	17	62
1 – 5	23	5	12	40
5 – 10	11	12	4	27
> 10	10	1	16	27
Jumlah	70	30	49	156

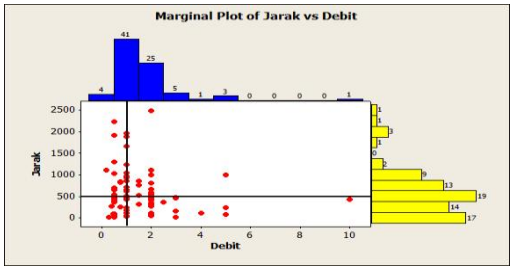
Dua perhitungan tersebut kemudian dikorelasikan dengan data yang berkait dengan mata air. Metoda ini pernah dilakukan oleh Galanos dan Rokos (2006) dan Walsh (2008). Ada lebih dari 209 kelurusan telah ditarik dan terdigitasi pada citra sebagaimana diperlihatkan pada Kelurusan memiliki orientasi umum NW – SE atau dalam kisaran N125^{0}E s/d N 130^{0}E, sebagaimana diagram roset (Gambar 2)), kelurusan memiliki pola radial , sebagian besar mata air berada pada jarak 400 m dari kelurusan).

Dari gambar dapat diketahui bahwa kelurusan pada batuan lava umumnya berkorelasi dengan kemunculan mata air di dekatnya, yaitu pada jarak mendekati 0 m dan (400 – 800) m. Selanjutnya kelurusan pada lahar memiliki jarak terdekat dengan mata air berkisar antara 2 m hingga 2800 m, serta kelurusan pada piroklastik berjarak 200 m hingga 1000 m dari lokasi kemunculan mata air. Keberadaan aliran airanah dan pemunculan mata air secara umum diketahui berasosiasi dengan litologi penyusun akifer, dan sesuai hasil identifikasi di lapangan diketahui terdiri atas batuan piroklastik, lahar dan lava.

Tinjauan terhadap hubungan antara debit mata air terhadap jarak dan kelurusan, diketahui bahwa, populasi mata air paling tinggi diperoleh pada jarak (0 – 2000) m dengan debit berkisar antara 1 hingga 2 l/d, sebagaimana pada (Gambar 3). Jumlah mata air mengecil sejalan dengan jarak semakin jauh dari kelurusan (Gambar 4). Akan tetapi terdapat mata air dengan debit (10 – 20) l/d yang muncul pada jarak (500 – 1000) m dari kelurusan.



Gambar 3. Histogram Jarak Mataair Terhadap Kelurusan Terdekat



Gambar 4. Plot antara debit mata air (Q dalam l/d) dengan jarak lokasi mataair terhadap kelurusan (dalam m).

Zona rekahan pada umumnya mengendalikan debit mata air, dan diketahui ada dua jenis asal pembentukan rekahan, yakni: pada aliran lava dan rekahan pada lahar, memiliki komposisi andesit dan basalt.

2.2. Hubungan Laju Infiltrasi dan Ketebalan Tanah Pelapukan

Intensitas proses pelapukan di daerah penelitian sangat tinggi, dicirikan oleh tanah pelapukan dengan kisaran ketebalan antara 0.5 m sampai10 m. Lapisan setebal itu memiliki potensi menyimpan dan selanjutnya meresapkan air hujan ke dalam akifer batuan padu.

Menurut Chow (1964) dan Miyazaki (1993), uji infiltrasi dapat dilakukan untuk menghitung laju infiltrasi akhir tanah pelapukan. Nilai akhir tanah pelapukan dari lahar menunjukkan kisaran (1,26 – 2,53) cm/menit, dilanjutkan oleh piroklastik sebesar 1,5 cm/menit, dan aliran lava dengan nilai (0,5 – 1,2) cm/menit (Gambar.6). Nilai laju infiltrasi akhir tersebut, menurut Linsley, dkk (1971) merupakan indikasi bahwa tanah pelapukan memiliki kapasitas cukup besar terhadap peresapan. (Gambar 7) merupakan

nilai infiltrasi dari tuf pasir dari F. Cikidang (Qvu), tuf berbatu apung dari F.Cibereum (Qyd) dan breksi gunung api dari Formasi Cikapundung (Qyt) menunjukkan kisaran (I) sesuai (Tabel 3).

Tabel 2. Kondisi Hidrogeologi Lereng Gunung Tangkubanperahu

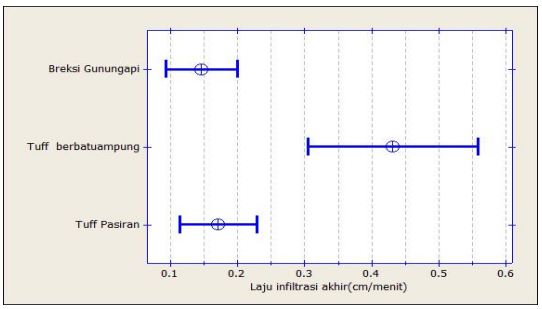
Volcanic facies	Description		Slope	Spring			Physical and hydraulic properties
	Symbol	Lithology		Zone	Number	Q (l/s)	
Volcanic core (2076) m.apl- estimated 2076) m.apl)		Volcanic neck, consists of andesites to dacite	0° 10° 20° 30° 45°	-	0	0	Impermeable rock with less, data is available
Proximal facies (650 – 2076 m.asl)		Pyroclastic fall and pyroclastic flow. Consists of andesite boulder dan tuff matrices		-	0	0	Impermeable rock, high infiltrate on rate of soil 1.5 cm/min, no other data is available
Proximal 1 facies (1250 – 2076 m.asl)				1	22	98 (class 1-3)*	Permeable, secondary permeabi-lity: cooling/sheeting joint with unsyste matic pola, thick residual soil (2-5 m), final infiltrasi rate of 0.5 – 1.2 cm/min
Proximal 2 facies (650 – 1250 masl)		Lava flow, consists of andesite to dacite lava			30	70 (class 1 -2)	
Distal facies (100 – 650 m.asl)		Laharic breccias, consists of andesite to dacite boulder with tuff and volcanic sand and matrices.		2	53	700 (class 1-3)*	Permeable, secondary permeabi-lity: fractured with isolated pattern, thick residual soil (2-5 m), final infiltration rate of 1.26 – 2.53 cm/min

Source :* ***According to Meinzer (1944) op.cit Todd, 1984*** *after Erwin. D, 2007*

Tabel 3. Nilai Laju Infiltrasi Pada Tanah Pelapukan (cm/menit)

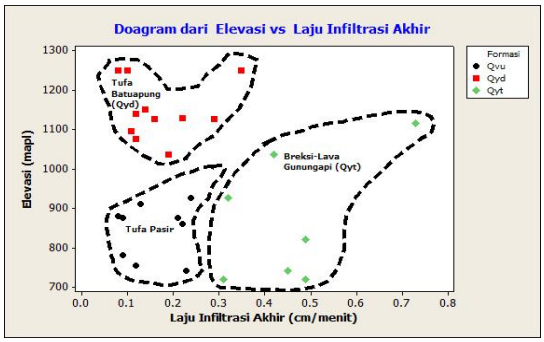
Nomor		Lokasi Mata air	Batuan penyusun akifer	Satuan Batuan	Elevasi (m.apl)	Koordinat		I (cm/menit)
Urut	Kode					X	Y	
1	Dz.01	Cibogo	**Tuf Pasir**	Qvu	1250	107° 37'.58"	6° 48' 53.028"	0.10
2	Dz.08	Cicalung	**Tuf Pasir–**	Qvu	1250	107° 38' .15"	6° 49' 51.1428"	0.08
3	Dz.19	Cipanjak	**Tuf Pasir**	Qvu	1035	107° 35' .95"	6° 50' 34.0044"	0.19
4	Dz.02	Pamecelan	**Tuf Pasir**	Qyd	1250	107° 35' 6"	6° 48' 34.5996"	0.35
5	Dz.06	Cinajuang	**Tuf Pasir**	Qyd	1125	107° 34' .22"	6° 49' 28.3152"	0.29
6	Dz.20	Cihideng	**Tuf Pasir**	Qyd	1075	107° 35'.6"	6° 50' 4.3296"	0.12
7	Dz.16	Rancakendal	**Tuf Pasir**	Qvu	740	107° 36'.70"	6° 54' 21.9672"	0.45
8	Dz.27	Dago-pojok	**Tuf Pasir**	Qvu	859	107° 37' 0.6""	6° 52' 18.0768"	0.22
9	Dz.21	FKIP	**Tuf Pasir**	Qvu	875	107° 35' .82"	6° 51' 59.7168"	0.21
10	Dz.22	Cisitu lama	**Tuf Pasir**	Qvu	720	107° 36' .22"	6° 53' 8.6712"	0.49
11	Dz.13	Setrasari	**Tuf Pasir**	Qvu	780	107° 35'.15"	6° 53' 0.0276"	0.09
12	Dz.18	Cisintok	**Tuf Pasir**	Qvu	910	107° 34' .37"	6° 51' 15.732"	0.13
13	Dz.05	Babakan	**Tuf Berbatuapung**	Qyd	1138	107° 34' .37"	6° 48' 25.9848"	0..12
14	Dz.17	Kt.Geologi	**Tuf Berbatuapung**	Qyd	740	107° 36'.70"	6° 54' 21.9672"	0.23
15	Dz.14	Lbr. Tengah	**Tuf Berbatuapung**	Qyd	820	107° 34'.90"	6° 52' 22.4688"	0.49
16	Dz.07	Cikawari	**Tuf Berbatuapung**	Qyd	1127	107° 39' .49"	6° 49' 2.4996"	0.22
17	Dz 03	Ciburial	**Breksi Gunungapi**	Qyt	925	107° 38' 78"	6° 51' 28.4148"	0.24
18	Dz 19	Ciharalang	**Breksi Gunungapi**	Qyt	1035	107° 35' .95"	6° 50' 34.0044"	0.42
19	Dz 10	Tugu	**Breksi Gunungapi**	Qyt	1115	107° 39' .17"	6° 50' 59.5644"	0.73
19	Dz 15	Bongkar	**Breksi Gunungapi**	Qyt	880	107° 36' .21"	6° 51' 50.2092"	0.08
20	Dz 23	Cicaheum	**Breksi Gunungapi**	Qyt	720	107° 38' .29"	6° 54' 17.4348"	0.31
21	Dz 24	Psr.Gunting	**Breksi Gunungapi**	Qyt	1125	107° 37' .07"	6° 50' 20.3136"	0.16
22	Dz 25	Puncrut	**Breksi Gunungapi**	Qyt	1096	107° 36' .79"	6° 50' 33.8208"	0.11
23	Dz 04	Cikurutug	**Breksi Gunungapi**	Qyt	875	107° 37' .22"	6° 51' 58.4928"	0.09
24	Dz 12	Pagerwangi	**Breksi Gunungapi**	Qyt	755	107° 39' 79"	6° 53' 11.5008"	0.12
25	Dz 26	Psr.Munding	**Breksi Gunungapi**	Qyt	925	107° 37' .13"	6° 51' 7.7832"	0.32
26	Dz 28	Baturajak	**Breksi Gunungapi**	Qyt	1150	107° 36'.99"	6° 50' 0.8592"	0.14

Sumber : Dadang ZA, 1989



Menurut Chow (1964) dan Miyazaki (1993)
(Grafik laju infiltrasi pada Breksi lava/ Gunungapi, Tuff berbatuapung dan Tufa pasir)

Gambar 5. Plot Interval Laju Infiltrasi Airtanah Pelapukan



Berdasar Data Dadang Z.A, (1998)
(Grafik memperlihatkan keteraturan antara **nilai laju infiltrasi airtanah pelapukan pada jenis batuan tuf pasir (Qvu/F.Cikidang), tuf berbatu apung (Qyd/F.Cibereum) dan breksi lava atau (Qyt/F.Cikapundung)**.

Gambar 6. Ploting Laju Infiltrasi Air pada Tanah Pelapukan Terhadap Elevasi.

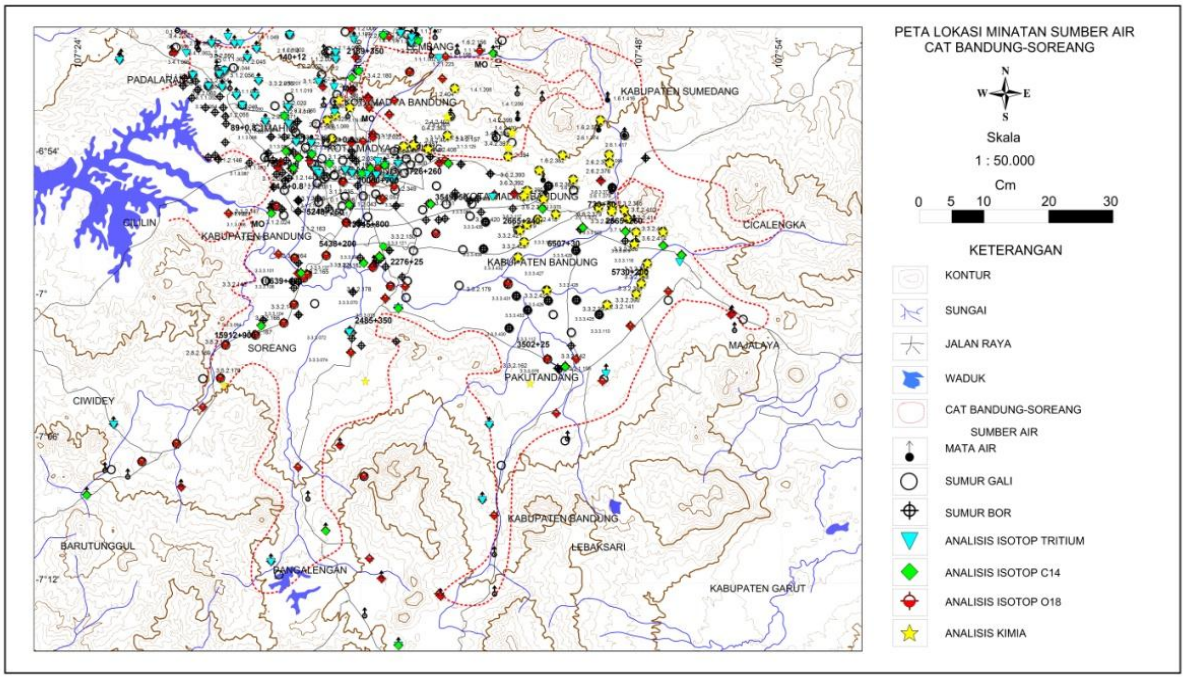
2.3. Distribusi dan Geometri Mata Air

Berdasar kemunculan mata air daerah CAT. Bandung-Soreang, pada lereng (utara – selatan) Gn. Tangkubanperahu bagian barat, dilengkapi kajian Sunarwan.B dan Puradimedja.D (1997), berbasis data IWACO-WASECO (1990), ditambah 60 mata air dan sumurgali kajian PPPG (2010), selanjutnya juga dari penelitian dan pengamatan langsung tahun (2011 s/d 2012). Maka dapat dilakukan pemerian terhadap zona kemunculan matair secara spasial, yaitu terdiri dari (3) zona:

- Zone 3: (500-750) m.apl, = 78 buah
- Zone 2: (750-900) m.apl, dan = 45 buah
- Zone 1: (900-1250) m.apl, = 19 buah

T o t a l = 142 buah

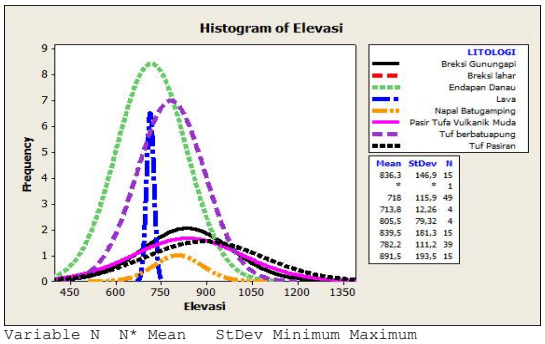
Rekaman pengukuran yang dilakukan di lapangan mencakup tujuh parameter yakni: koordinat (x, y, z), debit (Q) dalam liter/second, Total Padatan Terlarut (Total Dissolved Solids) (TDS) dalam ppm, Daya Hantar Listrik (Electric Conductivity) (DHL) dalam µS/cm, keasaman (pH), suhu mata air (Ta) dan suhu udara (Tu) dalam ^{o}C. Seluruh parameter ditampilkan dalam basis data.



Gambar 7. Lokasi Minatan Sumber Air (Matair, sumurgali dan Sumur Pemboran).

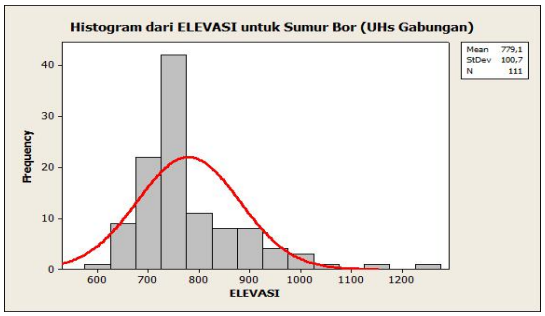
2.4. Kemunculan mata air vs elevasi

Kemunculan mata air dan aliran airtanah teramati berada mulai elevasi 450 m.dpl hingga **1458** m.dpl, dan sebanyak 142 mata air teridentifikasi, dan diketahui muncul pada elevasi rata-rata 804,2 m.dpl. dalam jumlah kecil dijumpai pada elevasi 450 m.dpl dan paling tinggi pada elevasi 1650 m.dpl yakni kurang lebih ada 10 mataair. (Gambar .9-A). Dari plot kisaran elevasi aliran muka airtanah diketahui muka airtanah pada data pemboran (Gambar 4.9.B), diketahui rata-rata pada elevasi 778, 12 m.dpl, minimim pada elevasi 620,00 m.dpl dan tertinggi pada 1286.00 di daerah Cisarua Lembang.




```
Variable N  N* Mean    StDev Minimum Maximum
ELEVASI 111 0 779,11 100,74 620,00  1269,00
```

Gambar 8. Plot kisaran elevasi kemunculan mataair pada sistem Akifer

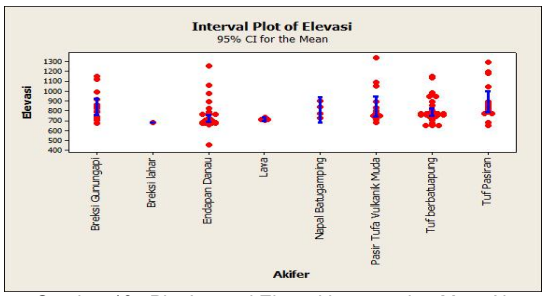



```
Variable N  N* Mean    StDev Minimum Maximum
ELEVASI 111 0 779,11 100,74 620,00  1269,00
```

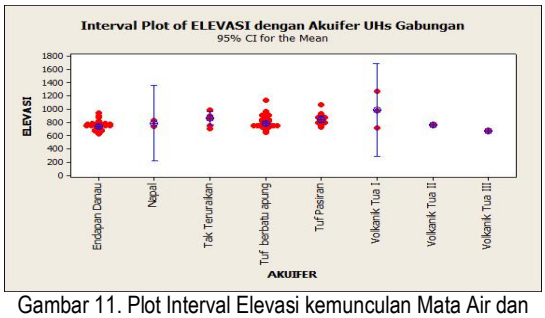
Gambar 9. Plot kisaran elevasi aliran airtanah pada kondisi multi akifer (data pemboran).

2.5. Kemunculan Mataair vs Akifer Penyusun Satuan Batuan

Kemunculan mataair dijumpai pada setiap batuan yang mampu berperan sebagai akifer dan menjadi penyusun satuan batuan yang ada di CAT. Bandung Soreang.



Gambar 10. Plot Interval Elevasi kemunculan Mata Air Berdasarkan Akifer



Gambar 11. Plot Interval Elevasi kemunculan Mata Air dan Aliran Airtanah Berdasarkan Jenis Batuan Penyusun Akifer dalam CAT Bandung-oreang

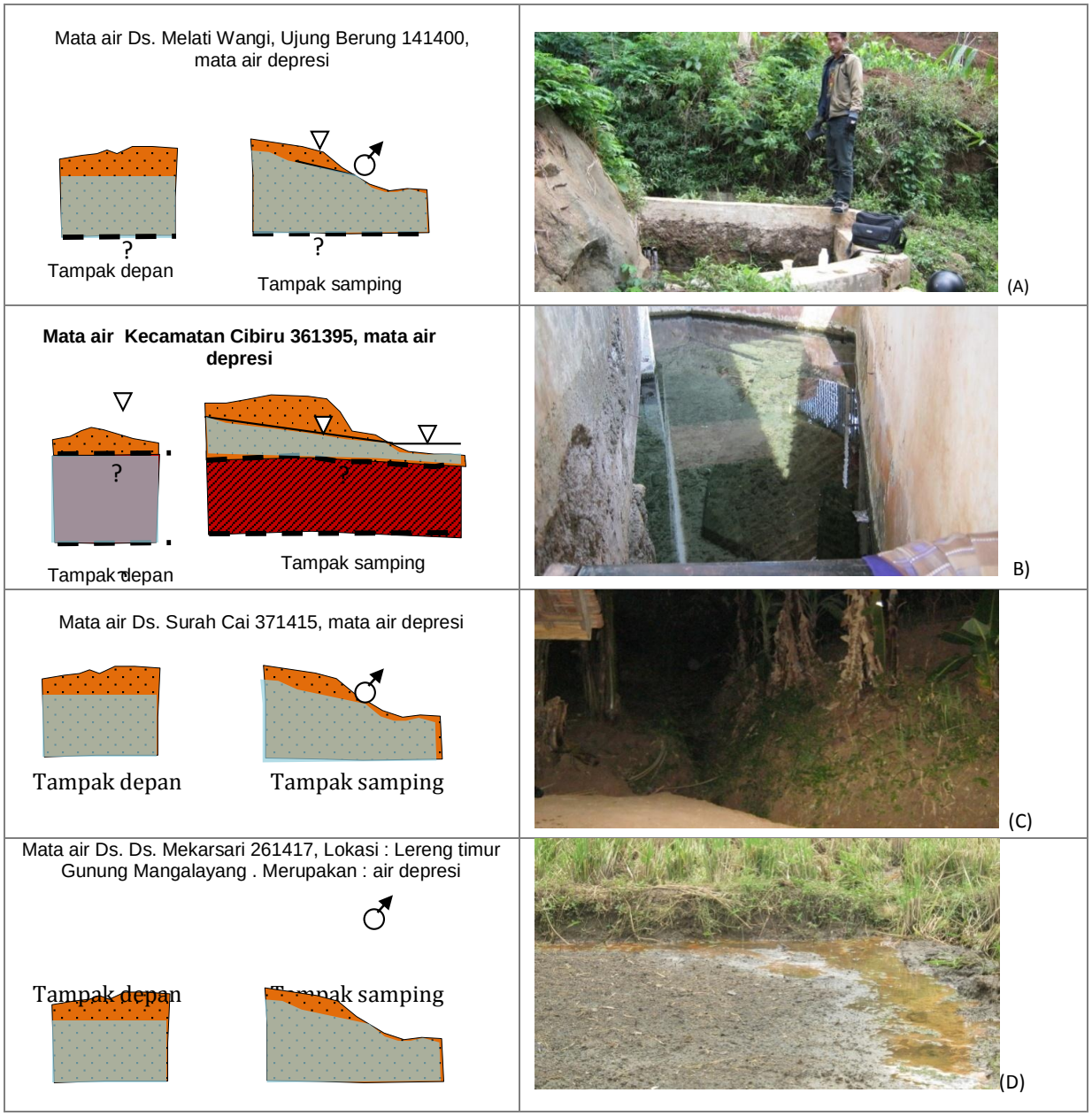
Dari jenis dan peran batuan di tiap satuan batuan di CAT. Bandung-Soreang, diketahui mata air dan aliran airtanah terbanyak dijumpai pada batuan tuf berbatuapung, yakni pada elevasi 1300 m.dpl., kemudian akuifer lava yang secara umum menempati elevasi 700 m.dpl, dan paling sedikit berada pada akifer yang tersusun oleh breksi lahar serta batugamping napal (Gambar 10 A dan 10B).

3. TIPE KEMUNCULAN MATAIR DI CAT. BANDUNG SOREANG

Dari hasil pengamatan, diketahui ada dua tipe kemunculan mata air (mata air depresi dan mataair rekahan) yang umum hadir di CAT. Bandung – Soreang.

3.1 Mata Air Depresi

Mata air depresi terbentuk karena muka air tanah terpotong oleh topografi. Jenis ini merupakan jenis umum yang muncul di CAT. Bandung – Soreang.. Kemunculannya dikendalikan oleh distribusi dan ketebalan tanah pelapukan. Beberapa contoh sketsa dan foto lokasi mata air depresi disajikan Pada Gambar 11 yaitu : a) Ds. Melatiwangi - Ujungberung, b) Cibiru c) Lokasi Ds. Curah Cai dan d) Ds.Mekarsari – Lereng Gn. Manglayang.



Gambar 12. Sketsa dan foto lokasi mata air depresi di a) Ds. Melatiwangi - Ujungberung, b) Cibiru c) Ds. Curah Cai dan d) Ds.Mekarsari – Lereng Gn.Manglayang.

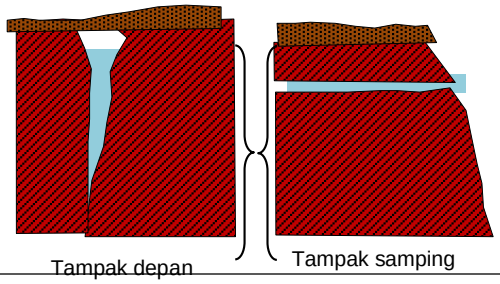
3.2 Mata Air Rekahan

Mata air rekahan muncul dikendalikan oleh sistem dan pola rekahan yang terdapat pada batuan lava. Sebagaimana beberapa contoh mata air rekahan di lokasi kajian ditampaikan pada (Gambar 12), berikut yang terdiri dari:

a) Desa Babakan Betawi, Ujungberung
b) Desa Cinunuk, Kec. Cileunyi,
c) Desa Nanggerang. Kecamatan Sukasari, Kabupaten Sumedang,
d) Desa Nanggerang. Kecamatan Sukasari. Sumedang,
e) Desa Cisepur, Calam Kuning,
f) Kampung Cimenyan, Kecamatan Cimenjah. Kabupaten Sumedang.

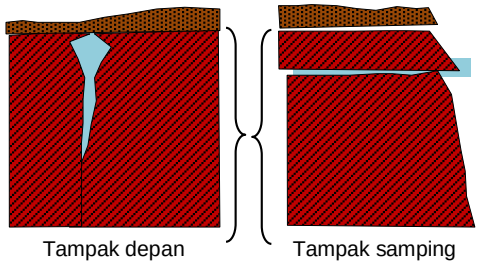
Debit mata air diukur pada 95 lokasi mata air dengan menggunakan *stopwatch* dan wadah ukur untuk mata air berdebit lebih kecil dari 5 l/det dan metoda *stream channeling* untuk mata air dengan debit lebih besar dari 5 l/det.

Mata air Ds. Babakan Betawi, Ujung Berung 341407 . Mata air rekahan lava, Q= L/d



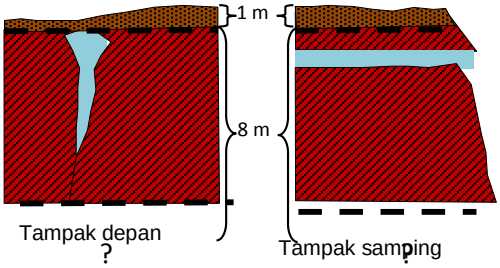
(A)

Mata air Ds. Cinunuk, Kec. Cileunyi 361396 . Mata air rekahan lava, Q= L/d



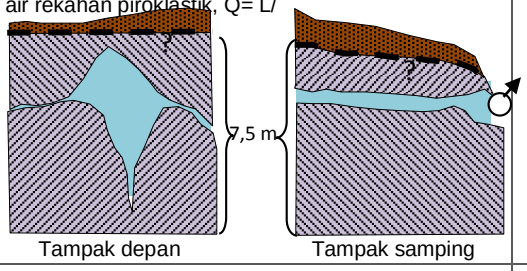
(B)

Mata air Ds. Nanggerang. Kec. Sukasari. Sumedang 261374 . Mata air rekahan lava,



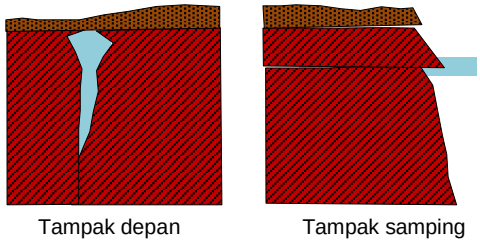
(C)

Mata air Ds. Cikuda , Jatinangor 361378 . Mata air rekahan piroklastik, Q= L/

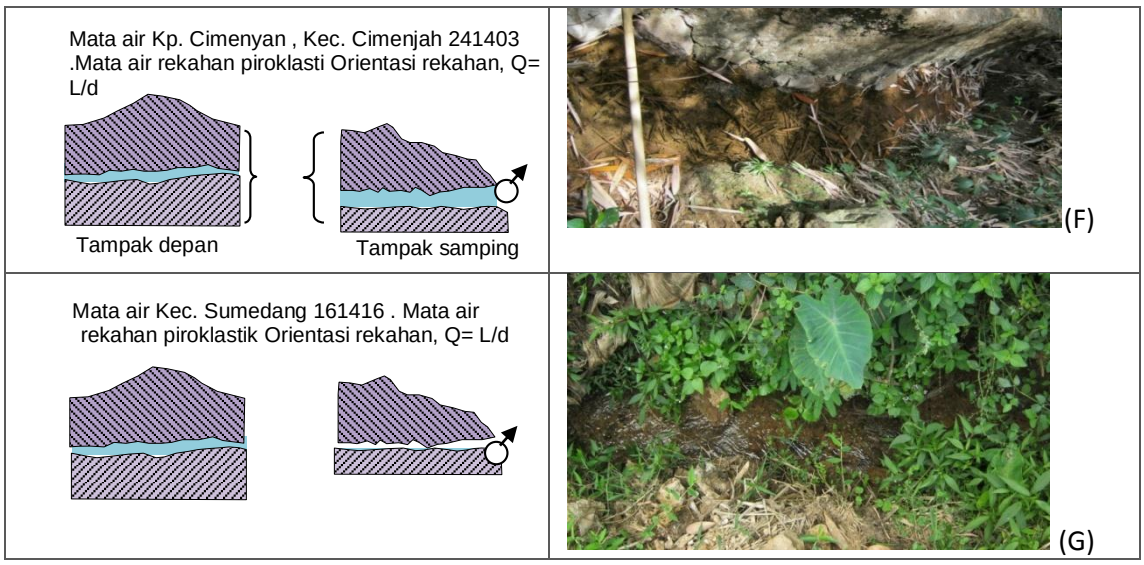


(D)

Mata air Ds. Cisepur,Calam Kuning 371412. Mata air rekahan lahar, Orientasi rekahan Q= L/d



(E)



Gambar .13 Sketsa dan foto lokasi mata air rekahan di a) Ds.Babakan Betawi - Ujungberung b) Ds. Cinunuk - Kec. Cileunyi, c) Ds. Nanggerang - Kec. Sukasari. Smedang, d) Ds. Nanggerang - Kec. Sukasari. Sumedang, e) Ds.Cisepur,Calam Kuning, f) Kp. Cimenyan - Kec. Cimenjan dan g). Kec. Sumedang

4. DISKUSI/KESIMPULAN

1) Kelerengan, kemiringan lapisan, jenis batuan, erosi permukaan, rekahan dan patahan memiliki pengaruh besar terhadap besar kecilnya debit mataair yang muncul, khususnya di daerah endapan volkanik.
2) Laju infiltrasi pada batuan dan tanah pelapukan di Cekungan airtanah Bandung, juga dipengaruhi oleh 3 tiga kelompok batuan yang menutupi yakni, Satuan Batuan batuan tuf pasir (Qvu/F.Cikidang), tuf berbatu apung (Qyd/F.Cibereum) dan breksi lava atau (Qyt/F.Cikapundung).Tiap satuan , tiap lokasi diperlukan kajian detil pengaruh dan efek yang ditimbulkan khususnya untuk tujuan konservasi airtanah .

PUSTAKA

1) *Bemmelen, van*, 1934, Erupsi G. Tangkubanperahu dan Geologi Regional daerah Bandung Lembar Bandung, skala 1 : 100.000.
2) *Brassington*, 2000, Field Hydrogrology, International Association of Hydrogeologist publication
3) *Birk, S., Liedl, R., dan Sauter, M*. (2004): *Identification of Localised Recharge and Conduit Flow by Combined Analysis of Hydraulic and Physico-Chemical Spring Responses (Urenbrunnen, SW-Germany), Journal of Hydrology* 286. p. 179-193.
4) *Deptamben*, 1979, Data Dasar Gunungapi Indonesia, Deptamben.
5) *Dam, M.A.C.*, 1994, *The Late Quaternary Evolution of the Bandung Basin, West Java*, Indonesia.
6) *Davis, J.C.* (1986): *Statistics and Data Analysis in Geology, John Wiley & Sons Inc.*, New York.
7) *Distamben Jabar & DTLGKP*, 2002, Peta Zonasi Konservasi Air Bawah Tanah Jawa Barat.
8) *Domenico, P.A., Schwartz, F.W.*, 1990, *Physical and Chemical Hydrogeology*, John Wiley & Son, Inc., New York.
9) *Drever, J.I.* (1988): *The Geochemistry of Natural Waters*, Prentice Hall.
10) *Freeze, R.A., Cherry*, J.A., 1979, *Groundwater*, Prentice-Hill, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
11) *Galanos, I. dan Rokos, D.* (2006): *A statistical approach in investigating the hydrogeological significance of remotely sensed lineaments in the crystalline mountainous terrain of the island of Naxos, Greece, Hydrogeology Journal* (2006) 14. pp 1569–1581. DOI 10.1007/s10040-006-0043-2.
12) *Hem, J.D.* (1980): *Hydrochemistry of Natural Waters, USGS Water Supply Papers.*
13) *IWACO& WASECO*, 1989, *Reconaissance of Environmental Aspects Related to Groundwater Resources in West Java, Special Report:*

West Java provincial Water Sources Master Plan for Water Supply, Directorate General of Human Settlement, Ministry of Public Works.

14) *IWACO & WASECO*, 1990, *West Java Provincial Water Sources Master Plan for Water Supply – Volume A: Groundwater Resources, Project Report of Cooperative Work between The Government of Indonesia and The Government of Netherlands.*
15) *Irawan, E., Puradimaja, D.J., Yuwono, Y.S., dan Syaifullah, T.A.*, 2000, Pemetaan Endapan Bahan Volkanik Dalam Upaya Identifikasi Akifer pada Sistem Gunungapi, Studi Kasus Daerah Pasirjambu – Situwangi Soreang, Kabupaten Bandung, Jawa Barat. Buletin Geologi, Vol.3, Tahun 2000.
16) *Kim, T., Moon, D.C., Park, W.B., Park, K.H., dan Ko, G.W.* (2007): *Classification of springs of Jeju Island using cluster analysis of annual fluctuations in discharge variables: investigation of the regional groundwater system, Geosciences Journal*, v. 11. n. 4, p. 397 – 413.
17) *Kovacs, A. dan Perrochet, P*. (2008): *A Quantitative Approach to Spring Hydrograph Decomposition, Journal of Hydrology*. No. 352. pp 16-29.
18) *Kusumadinata, K*. (ed) (1979): Data Dasar Gunungapi Indonesia, Bandung: Departemen Pertambangan dan Energi.
19) *Koesoemadinata, R.P., dan Hartono, D.*, 1981, Stratigrafi dan Sedimentasi Daerah Bandung, Prosiding Ahli Geologi Indonesia, Bandung.
20) *Lattman, L.H. dan Parizek, R.R*. (1964): *Relationship between fracture traces and the occurrence of groundwater in carbonate rocks, Journal of Hydrology* 2. pp 73–91.
21) *Le Bas, M.J. dan Streckeisen, A.L*., (1991): *The IUGS systematics of igneous rocks, J. Geol. Soc. London* 148, 825-833.
22) *Lloyyd, J.W.*, 1981, *Case – Studies in Groundwater Resources Study Evaluation, Oxford University Press*, NewYork.
23) Manga, M. (1999): *On the Timescales Characterizing Groundwater Discharge at Springs. Journal of Hydrology* 219. P. 56-69.
24) *Marks*, 1959, Stratigraphic Lexicon of Indonesia.
25) *Marpaung, J*, 2003, Mataair dan Analisis Kawasan Imbuhan, Pengaliran dan Luahan Jalur Gunungapi : G.Tangkubanperahu, G. Bukittunggul, G.Burangrang, Tesis Magister, dibimbing oleh : Deny Juanda P dan Soedarto Notosiswoyo, tidak dipublikasikan.
26) *Matthes, G.*, 1981, *The Properties of Groundwater*, MC.Graw Hill.
27) *Mathes, S.E., dan Rasmussen, T.C.*, (2006), *Combination Multivariate Statistical Analysis with Geographic Information Systems Mapping* : *A Tool for Deliniating Groundwater Contamination, Hydrogeology Journal*, Vol 14, No.8, pp 1493 – 1507.
28) McPhie, J., Doyle, M.G., dan Allen, R.L. (1993): *Volcanic Textures: A guide to the interpretation of textures in volcanic rocks*, Hobart: CODES. University of Tasmania 198.
29) Melloul, A. dan Collin, M. (1992): *The Principal Components'Statistical Method as a Complementary Approach to Geochemical Methods in Water Quality Factor Identification; Application to the Coastal Plain Aquifer of Israel. Journal of Hydrology* 140, p. 49–73.
30) ***Pacheo, F.A.L. dan Alencoao, A.M.P***. (2005): *Role of fratures in weathering of solid rocks: narrowing the gap between laboratory and field weathering. Journal of Hydrology* 316.p. 248-265.
31) ***Peter J. Sugarman[1], Kenneth G. Miller[2], James V. Browning[2],*** 2005, Hydrostratigraphy of the New Jersey Coastal Plain : Sequences and facies predict continuity of aquifers and confining units, *[2]Dept. of Geological Sciences, Rutgers University, Piscataway, NJ 08854, [3]Delaware Geological Survey,Newark,DE.19716*
32) *Puradimaja, D.J.*, 1995, Kajian Atas Hasil-Hasil Penelitian Geologi/Hidrogeologi Dalam Kaitan Delineasi Geometri Akifer Cekungan Bandung, Prosiding Seminar Sehari Airtanah Cekungan Bandung
33) *Puradimaja, D.J. dan Santoso, D.* (2005): *Detection of Bribin Underground River Stream Using Bristow Resistivity Method, The Leading Edge, The Society of Exploration Geophysics* (SEG).
34) *Puradimaja, D.J. (1991*): *Differenciation hydrochimique et*

isotopique des emergences karstique du Languedoc – Roussillon (France). disertasi. Universite Montpellier. tidak dipublikasikan.
35) Repojadi.P, dan Team, 1998, data lapangan dan Analisa laboratorium, Konsevasi Airtanah di Wilayah Kabupaten Dati II Bandung dan sekitarnya, DGTL – Bandung
36) Rosadi, Sukrisno dan Wagner, *1993*, Kualitas dan Pengendalian Airtanah pada Beberapa Kawasan Cekungan Airtanah Bandung.
37) Silitonga, P.H., 1973, Peta Geologi Lembar Bandung, Jawa Barat, Skala 1:100.000, PPPG-Bandung
38) Sutrisno, 1983, Peta Hidrogeologi Indonesia, Lembar Bandung, Skala 1:150.000, Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Bandung.
39) *Shibhasaki, T., and Researh Group for Water Balance*, 1995, *Environtmental Management of Grondwater Basins*, TOKAI UNIVERSITY PRESS, Japan
40) *Sunarwan, B., dan Puradimaja, D.J.,* (1997),Penerapan metoda hidrokimia – isotop Oksigen 18 (^{18}O), Deuterium dan Tritium (^{3}H). dalam karakterisasi akifer airtanah sisem akifer bahan volkanik Studi kasus Kawasan Padalarang – Cimahi – Lembang, Bandung *)*. Tesis Magister, dibimbing oleh : Juanda.P dan Soedarto Notosiswoyo, tesis S.2, tidak dipublikasi.
41) *Sunarwan, B., dan Puradimaja, D.J.,* 1998, Variasi Kandungan Isotop Oksigen – ^{18} (^{18}O) dan Deuterium (^{2}H) dalam airtanah sebagai Pelacak alami Guna mempelajari Perilaku Airtanah pada Sistem Akifer Volkanik Cimahi-Padalarang – Lembang, Kabupaten Bandung, Jawa Barat, Prosiding PIT IAGI ke XXVI, Jakarta, 1998.
42) *Sunarwan, B., dan Puradimaja, D.J., (*2000), Interpretasi Pola Aliran Airtanah pada Batuan Volkanik dengan Pelacak alami Isotop Stabil ^{18}O, ^{2}H dan ^{3}H. Studi kasus Formasi Cibereum Daerah Padalarang, Cimahi Bandung, Prosiding PIT.IAGI ke XXVII, Bandung, 2000
43) *Sunarwan, B., dan Puradimaja, D.J.,* 2001 Study of Controlling Geological Parameter on Groudwater Chemical Facies Study : Tagogapu – Padalarang-Jambudipa Areas, Bandung. Prosiding PIT IAGI ke XXIX, Yogyakarta, 2001.
44) Steinhorst, R.K. Williams, R.E. (1985): *Discrimination of Groundwater Sources using Cluster Analysis, MANOVA, Canonical Analysis and Discriminant Analysis, Water Resources Research* 21, p. 1149–1156.
45) *Zuber, A., Motyka, J.,* 1994, *Matrix Porosity as the Most Important Parameter of Fisured Rocks for Solute Transport at Large Scales,* Journal of Hydrology, Vol.158, pp 19-46.

RIWAYAT PENULIS

Dr. Ir. Bambang Sunarwan . MT., Staf pengajar Program Studi Teknik Geologi Universitas Pakuan Bogor.