

KESEIMBANGAN MASSA PADA SISTEM PANAS BUMI BERDASARKAN DATA HIDROGEOLOGI DAERAH PROSPEK GEDONGSONGO KOMPLEKS GUNUNGAPI UNGARAN KABUPATEN SEMARANG PROVINSI JAWA TENGAH

Sefilra Andalucia

Program Studi Teknik Eksplorasi Produksi Migas, Jurusan Teknik Perminyakan
Kampus Politeknik Akamigas Palembang

Abstrack

The research area is located about 30 km southwest of the city of Semarang, precisely in the Volcano Complex Ungaran Semarang regency, Central Java province. Gedongsongo, Kaliulo, and Kendalisodo, is one of the areas that indicate a geothermal potential is characterized by the presence of some symptoms of geothermal surface manifestations. The principle of mass balance (mass balance) is entering (water) comparable to those lost to the surface (heat). In the geothermal system, the stability of the production of steam to be generated is determined by the balance between water recharge and discharge. Thus it needs to know how big the incoming water (infiltration of precipitation) and how hot out (heat loss) in the system. Hydrogeology is closely related to heat loss and potential recharge in the determination of the mass balance in the geothermal system that took place in the area of research. Parameters related to the potential of recharge is vast recharge area, slope and rainfall are affecting the recharge area. Based on calculations, the greater these parameters, the greater the potential recharge. Based on the results of the calculation of the amount of rainfall in Ungaran is equal to 711 mm / month or 966 liters / second / km while recharging the greatest potential in the amount of 23017.28 ltr / sec contained in zone 2 with an area of 572 km², there is the area of influence of rainfall rain station 1 (station Ungaran-SMG 30) with a slope of 135.52%.

I. Pendahuluan

Panas bumi atau *geothermal* berasal dari kata *GEO* yang berarti bumi dan kata *THERMAL* adalah panas. Jadi *GEOTHERMAL* adalah sumber energi yang berasal dari panas alamiah dari dalam bumi. Sistem panasbumi terbentuk sebagai hasil perpindahan panas dari suatu sumber panas di sekelilingnya yang terjadi secara konduksi dan konveksi. Magma akan memanasi air di dalam bumi yang berasal dari air resapan dari permukaan, kemudian air panas atau uap akan mengalir ke atas permukaan melalui rekahan-rekahan. Melalui rekahan-rekahan inilah, manifestasi panasbumi dapat muncul berupa fumarol, *steaming ground*, maupun mataair panas. Beberapa gejala manifestasi panasbumi di permukaan seperti adanya fumarola,

streaming ground, serta beberapa mata air dingin dan mataair panas di daerah Gedongsongo serta di Kendalisodo dan Kaliulo.

1.1. Lokasi Penelitian

Daerah penelitian terletak terletak kira-kira 30 km sebelah barat daya kota Semarang, Propinsi Jawa Tengah. Daerah ini dapat dicapai dengan menggunakan kendaraan bermotor roda dua maupun roda empat, yang dapat ditempuh dari 2 sisi yaitu dari Yogyakarta melalui Ambarawa (105 km) dan dari Semarang melalui Bergas (39 km) yang akan bertemu di daerah wisata Agro Bandungan. Sementara jarak tempuh dari Bandungan ke lokasi candi sekitar 6 km dan dapat ditempuh dalam waktu 15 menit.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

II. Tinjauan Pustaka

2.1. Klimatologi

Hidrologi suatu daerah sangat ditentukan oleh iklim. Iklim merupakan kondisi rata-rata cuaca dalam waktu yang panjang. Iklim di bumi sangat dipengaruhi oleh posisi matahari terhadap bumi. Klasifikasi iklim ditentukan oleh letak geografis. Kondisi iklim tersebut terwakili oleh beberapa aspek klimatologi seperti curah hujan, penyinaran matahari, kelembapan udara, evapotranspirasi, kecepatan angin serta temperatur udara.

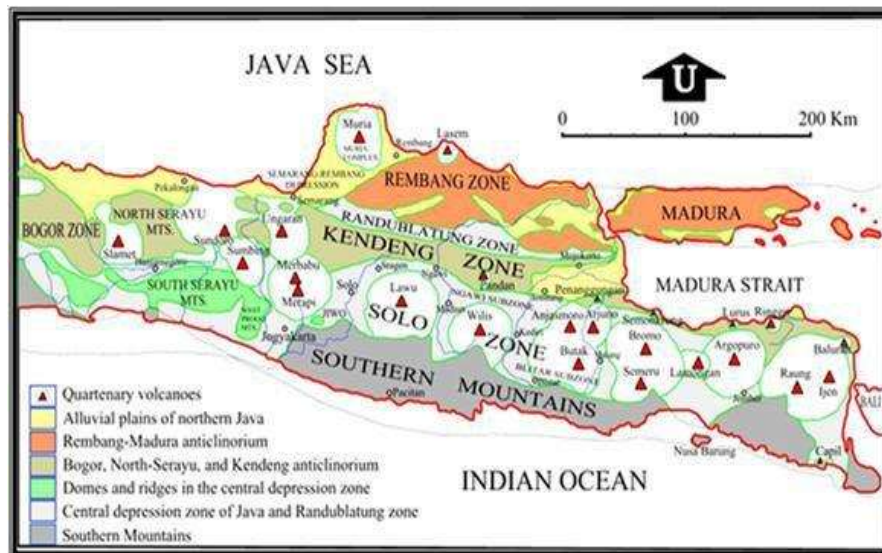
Curah hujan rata-rata tahunan di Semarang dan sekitarnya berkisar antara 2500-5000 mm/thn di daerah Gunungapi strato dan 1000-3000 mm/thn di daerah perbukitan. Gunungapi strato seperti Gunung Muria dan Gunung Ungaran menerima curah hujan tertinggi (Binni and Partner, 1982 dalam Said & Sukrisno, 1988). Sementara itu, DGTL (2011) menyebutkan bahwa curah hujan rata-rata di daerah Ungaran adalah sekitar 2.247 mm/thn. Bulan basah berlangsung pada November-April

dengan curah hujan bulanan >200 mm, sedangkan bulan kering berlangsung pada Juni-Oktober dengan curah hujan bulanan < 200 mm. Suhu udara bulanan rata-rata antara 24,8-26,5°C, dan evapotranspirasi nyata sebesar 1.479 mm/thn.

2.2 Geologi

2.2.1. Geomorfologi

Van Bemmelen (1949), membagi pegunungan di Jawa Tengah menjadi dua puncak geantiklin, yaitu Pegunungan Serayu Utara dan Pegunungan Serayu Selatan. Pegunungan Serayu Utara membentuk garis penghubung antara Zona Pegunungan Kendeng di Jawa Tengah. Sedangkan Pegunungan Serayu Selatan merupakan elemen yang muncul dari Zona Depresi Bandung yang membujur longitudinal di Jawa Barat. Pembagian geomorfologi Pulau Jawa berdasarkan fisiografinya (Jawa Tengah dan Madura) seperti dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Fisiografi Jawa Tengah (Van Bemmelen, 1949)

2.2.2. Stratigrafi

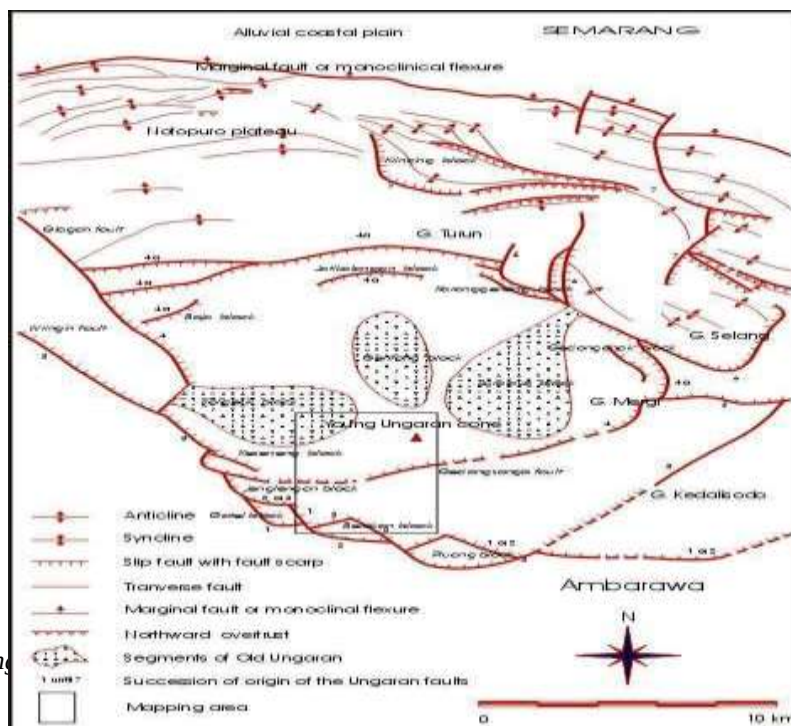
Stratigrafi regional sangat berkaitan erat dengan fisiografi daerah tersebut, yang mana telah diuraikan sebelumnya. Untuk stratigrafi regional ini berdasarkan pada stratigrafi (Van Bemmelen, 1949) dimana urutan Formasi yang paling tua hingga yang paling muda, diantaranya : Formasi Lutut, Formasi Merawu, Formasi Penyatan : (Penyatan Bagian Bawah, Penyatan Bagian Tengah, Penyatan Bagian Atas), Formasi Banyak, Formasi Cipluk, Anggota Kapung, Formasi Kalibiuk, Formasi Damar, Formasi Notopuro, dapat dilihat pada (Gambar 2).

2.2.3. Struktur Geologi

Van Bemmelen (1949) menyatakan bahwa periode tektonik Miosen Bawah

hingga Pliosen Atas, memegang peranan penting dalam perkembangan struktur geologi Jawa Tengah. Menurut teori tektonik lempeng, pada kala miosen akhir hingga pleistosen cekungan Jawa Tengah Utara merupakan cekungan belakang busur.

Struktur geologi daerah Ungaran dikontrol oleh struktur runtuh (*collapse structure*) yang memanjang dari Barat hingga Tenggara dari Ungaran. Batuan vulkanik penyusun pre-caldera dikontrol oleh sistem sesar yang berarah barat laut-barat daya dan tenggara- barat daya, sedangkan batuan vulkanik penyusun post-caldera hanya terdapat sedikit struktur dimana struktur ini dikontrol oleh sistem sesar regional (Budiardjo et al. 1997).



Corresponding

3. Pembahasan

3.1 Manifestasi Panasbumi

Fumarol di daerah Gedongsongo muncul di Kawah Item dengan suhu sekitar 84°C . Keduanya muncul di atas zona ubahan yang berasal dari breksi dan lava andesit gunungapi. mataair panas bertemperatur 48°C - 53°C. Mataair panas dengan suhu antara 69-78°C terutama muncul di tepian kiri maupun kanan Kali Paramasan yang membentuk zona kenampakan panasbumi, Kawah Item di bagian hulu dan Kawah Paramasan di bagian bawah atau hilirnya.

Pada lokasi penelitian selanjutnya terdapat mataair di daerah Kendalisodo memiliki suhu antara 32-35 °C dengan pH 5 – 7, dengan debit 0,02-0,05 ltr/dtk, mempunyai air yang sedikit keruh dan terdapat pula gelembung-gelembung gas. Di lokasi yang berbeda terdapat pula sungai dengan aliran kecil dan pH yang netral di daerah Kendalisodo.

Pada lokasi Kali Ulo memiliki beberapa kolam air panas dengan suhu yang berbeda, dari pengukuran suhu yang dilakukan oleh penulis, suhu mataair berkisar antara 38-40 °C dengan pH 5-7, dengan debit 0,02 ltr/dt. Mataair panas tersebut sedikit keruh dan terdapat gelembung-gelembung gas

3.2 Kualitas Airtanah

Dari hasil pengukuran yang dilakukan di lapangan didapatkan nilai :

1. TDS (173-302) adalah baik, kandungan unsur/senyawa anorganik yang berada dibawah nilai maksimum disarankan (1500).

2. DHL adalah cukup baik untuk di konsumsi dan baik untuk pertanian (117µmhos/cm - 268 µmhos/cm).
3. Derajat keasaman (pH=6-6,4) daerah penelitian semuanya baik karena masih di bawah nilai maksimum yang diperbolehkan yaitu kurang dari 7,5.

Dengan demikian dapat diketahui secara langsung, kualitas air daerah telitian dapat dikategorikan baik.

3.3. Geokimia Mataair panas

Analisis kimia dilakukan pada sampel mataair panas yaitu dari di daerah Gedongsongo dan pada beberapa tempat yang berbeda, berupa mataair panas (MP 1 GS), Mataair Dingin (MD 1 GS), Mataair Hangat (MH 1 GS), Mataair Kendalisodo, Mataair yang dilakukan di Laboratorium Hidrologi Dan Kualitas Air, Fakultas Geografi, Universitas Gajah Mada. Hasil analisis menunjukkan pH air berkisar antara 5-7 yang berarti kualitas airtanah di daerah penelitian termasuk bagus, dapat dilihat pada Lampiran 2.

3.4. Penentuan Jenis Mataair Panas

Berdasarkan Giggenbach

Dalam menentukan jenis air panasbumi apakah termasuk air klorida, sulfat atau bikarbonat, digunakan Segitiga Giggenbach yang akan memberikan gambaran hasil perpotongan dari garis yang dibuat berdasarkan besar nilai persentasi dari unsur-unsur yang digunakan (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-}).



Gambar 5. Penentuan Jenis Air

Dari hasil analisis kimia air yang diploting pada segitiga Giggenbach menunjukkan bahwa komposisi kimia air pada mataair panas Gedongsongo termasuk jenis air sulfat, mataair panas Kali Ulo berjenis air klorida, dan mataair panas Kendalisodo berjenis air bikarbonat.

3. 5. Neraca Air

3.5.1. Curah Hujan (CH)

Data curah hujan yang dipergunakan dalam perhitungan ini diperoleh dari stasiun pengamat curah hujan yaitu Stasiun Semarang. Grafik curah hujan rata-rata bulanan daerah Ungaran dari tahun 2006-2010 dapat dilihat pada Gambar 1 dalam Lampiran 3.

3.5.2. Infiltrasi (I)

Dalam penelitian ini perhitungan infiltrasi yang dilakukan adalah perhitungan infiltrasi bulanan. Dari tahun 2006-2010, hasil perhitungan menunjukkan Infiltrasi bulanan terkecil terjadi pada bulan Juli yaitu

sebesar 2,03 ltr/detik dan terbesar terjadi pada bulan Mei sebesar 9,71 ltr/detik.

3.5.3. Run-Off (RO)

Besarnya *run-off* merupakan besarnya potensi air permukaan yang dapat dimanfaatkan pada Sub-Das. Dari tahun 2006-2010, hasil perhitungan menunjukkan *Run-Off* (RO) terkecil terjadi pada bulan Agustus yaitu sebesar 41,46 ltr/detik dan terbesar rata-rata terjadi pada bulan Desember sebesar 372,26 ltr/detik.

3.5.4. Evapotranspirasi (ET)

Secara matematis besarnya infiltrasi dihitung dengan menggunakan metode Blanney-Criddle. Dari hasil perhitungan pada Sub-Das daerah telitian dari tahun 2006-2010, rata-rata evapotranspirasi terkecil terjadi pada bulan Juli yaitu sebesar 72,82 ltr/detik dan terbesar terjadi pada bulan Desember sebesar 80,52 ltr/detik. Perhitungan evapotranspirasi dilakukan dengan menggunakan metode Blanney-Criddle.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Neraca Air

Bulan	Neraca Air Sub Das II			
	I	RO	ET	ΔS
	(lt/dt/Km ²)	(lt/dt/Km ²)	(lt/dt/Km ²)	(lt/dt/Km ²)
Januari	4,59	330,6	75,18	0
Februari	8,27	361,7	75,76	0
Maret	5,56	328,4	76,58	0
April	4,49	338,3	79,65	0
Mei	8,70	184,4	73,44	0
Juni	4,00	78,2	73,70	0
Juli	1,69	9,7	72,82	0
Agustus	2,66	34,6	73,93	0
September	7,93	84,5	74,36	0
Oktober	9,67	173,0	76,84	0
November	5,49	213,2	78,75	0
Desember	3,87	351,1	80,52	0
Jumlah	66,90	2487,49	911,53	0

3.6. Keseimbangan Massa Pada Sistem

Untuk mengetahui keseimbangan massa pada sistem panasbumi dalam penelitian ini, tahap-tahap yang dilakukan adalah sebagai berikut :

3.6.1. Pengukuran Debit, Suhu dan Kehilangan Panas (*Heat Loss*)

Pengukuran debit dan suhu pada mataair panas dan fumarol di lembah Kali Panjang dimaksudkan untuk perhitungan kehilangan panas alamiah, dengan hasil seperti pada Tabel di bawah ini :

Tabel 2. Perhitungan Debit Mata Air

NO	KET	pH	T udara (°C)	T fluida (°C)	q
					(ltr/dtk)
1	MP 1 GS	5,98	25	60	0,200
2	MH 1 GS	4	25	36	0,150
3	MH 2 GS	4	25	40	0,090
4	Mataair Kendalisodo	7,22	30	38	0,120
5	Mataair Kaliulo	7,11	30	46	0,020
Jumlah					0,58

Tabel 3. Entalpy Suhu Udara dan Suhu Fluida (Sumber: *Steam Table*, 1989)

No	Mataair	T udara (°C)	T fluida (°C)	Enthalpy (KJ/Kg)	
				T fluida	T udara
1	MP 1 GS	25	60	251,1	104,8
2	MH 1 GS	25	36	150,7	104,8
3	MH 2 GS	25	40	167,5	104,8
4	Mata Air Kendalisodo	30	38	159,1	125,7
5	Mata Air Kaliulo	30	46	192,5	125,7

Dari data pengukuran di atas dilakukan perhitungan kehilangan panas (*heat loss*) dilakukan pada 5 mataair panas daerah Gedongsongo dan sekitarnya

dengan menggunakan rumus (Siripongsatian, 1994) :

$$Q = m (\bar{T} - T_o)$$

Tabel 4. Hasil Perhitungan Kehilangan Panas (*Heat Loss*)

NO	KET	q (m ³ /dtk)	ρ (Kg/m ³)	M (Kg/dtk)	Δh (enthalpy @ (Tfluida- T udara) kJ/kg	Q	
						kJ/dtk	ltr/dtk
1	MP 1 GS	0,00020	1000	0,200	146,3	29,26	0,059
2	MH 1 GS	0,00015	1000	0,150	45,9	6,89	0,014
3	MH 2 GS	0,00012	1000	0,120	62,7	7,52	0,015
4	MH Kendalisodo	0,00012	1000	0,120	33,4	4,01	0,008
5	MH Kaliulo	0,00002	1000	0,020	66,8	1,34	0,003
Jumlah						49,01	0,098

Untuk menghitung besarnya koefisien *recharge*, menurut McDonald

(1989) dari hasil penelitiannya, telah membagi daerah vulkanik muda menjadi 3 zona, yaitu :

1. Bagian puncak dengan kemiringan lereng (slope = 50%), koefisien *recharge* = 25-50%
2. Bagian tengah dengan kemiringan lereng (slope = 20-30%), koefisien *recharge* = 25%
3. Bagian kaki gunung api elevasi < 800m, dengan kemiringan lereng (slope = 5-10%), koefisien *recharge* = 20-25%.

3. 6.2. Kemiringan Lereng

Parameter yang digunakan untuk menghitung kemiringan lereng adalah sebagai berikut:

N = Banyak Kontur

IK = Interval Kontur

BT = Beda Tinggi

JH = jarak horizontal

SP = skala peta (1:65000)

C = koefisien *recharge* (%), Mc Donald (1989)

Berdasarkan perhitungan, kemiringan lereng (slope) daerah telitian adalah sebagai berikut :

Tabel 5. Kemiringan Lereng Per zona *Recharge* Pada Stasiun 1

Zona	n	n-1	IK	BT	JH	SP	JH x SP	tg a	Sudut Lereng	% Lereng	c
1	35	34	125	4250	4,1	650	2665	1,59	57,91	128,69	20-50%
2	16	15	125	1875	1,6	650	1040	1,80	60,98	135,52	20-50%
3	11	10	125	1250	2,8	650	1820	0,69	34,48	76,63	20-50%
4	11	10	125	1250	3,8	650	2470	0,51	26,84	59,65	20-50%

Tabel 6. Kemiringan Lereng Per zona *Recharge* Pada Stasiun 2

Zona	n	n-1	IK	BT	JH	SP	JHxSP	tg a	Sudut Lereng	% Lereng	c
2	21	20	125	2500	3,5	650	2275	1,10	47,70	106,00	20-50%
3	6	5	125	625	3,1	650	2015	0,31	17,23	38,29	25%
4	11	10	125	1250	3,8	650	2470	0,51	26,84	59,65	20-50%
5	13	12	125	1500	3,6	650	2340	0,64	32,66	72,58	20-50%

Tabel 7. Kemiringan Lereng Per zona *Recharge* Pada Stasiun 3

Zona	n	n-1	IK	BT	JH	SP	JH x SP	tg a	Sudut Lereng	% Lereng	c
2	6	5	125	625	3	650	1950	0,32	17,77	39,49	25%
3	6	5	125	625	2	650	1300	0,48	25,68	57,06	20%-50%

Nilai persentase lereng ini dapat diartikan bahwa proporsi curah hujan yang mampu diserap pada daerah telitian. Setelah menghitung kemiringan lereng, maka langkah selanjutnya adalah menghitung potensi *recharge* per zona.

7. Potensi *Recharge* Per Zona

Berdasarkan Peta Interpretasi Kerapatan Rekahan yang telah dibuat, dapat diasumsikan daerah telitian termasuk pada zona bagian tengah-kaki gunung api dimana daerah telitian didominasi oleh andesit, basal augit dan breksi vulkanik.

Untuk memprediksi *recharge* tahunan suatu lapangan panasbumi dipergunakan persamaan sebagai berikut (dalam Widagda dan Jagranatha, 2005) :

$$R = A \times Pa \times c$$

Dimana :

R = *Recharge* tahunan rata-rata air tanah (ltr/dtk)
 A = Luas Permukaan daerah *recharge* (km²)
 Pa = Curah hujan rata-rata tahunan pada daerah *recharge* (ltr/dtk)
 C = Koefisien *recharge* (%)

Tabel 8. Perhitungan Potensi *Recharge* Pada Stasiun 1

Zona	A (km ²)	Pa (lt/dt/km ²)	C	R (ltr/dtk)
1	312	80,48	20%-50%	12554,88
2	572	80,48	20%-50%	23017,28
3	221	80,48	20%-50%	8893,04
4	32,5	80,48	20%-50%	1307,80
Jumlah				45773,00

Tabel 9. Perhitungan Potensi *Recharge* Pada Stasiun 2

Zona	A (km ²)	Pa (lt/dt/km ²)	c	R (ltr/dtk)
2	292,5	60,55	20%-50%	8855,44
3	819	60,55	25%	12397,61
4	45,5	60,55	20%-50%	1377,51
5	104	60,55	20%-50%	3148,60
Jumlah				25779,16

Tabel 10. Perhitungan Potensi *Recharge* Pada Stasiun 3

Zona	A (km ²)	Pa (lt/dt/km ²)	c	R (ltr/dtk)
2	117	65,63	25%	1919,68
3	624	65,63	20%-50%	20476,56
Jumlah				22396,24

4. Kesimpulan

- Berdasarkan hasil perhitungan dari ketiga stasiun pengaruh curah hujan, besarnya potensi *recharge* yang paling besar terdapat pada zona 2 yaitu sebesar 23017,28 ltr/dtk dengan daerah pengaruh curah hujan Stasiun 1 (Stasiun Ungaran-Smg 30A).
- Berdasarkan analisis penulis, curah hujan, kelerengan dan kerapatan rekahan merupakan parameter yang sangat erat kaitannya dalam penentuan besarnya potensi *recharge* serta keberlangsungan sistem panasbumi daerah telitian.
- Berdasarkan hasil perhitungan, besarnya panas yang hilang (*heat loss*) ke permukaan sebesar 49,01kJ/dtk atau 0,098 ltr/dtk.
- Terjadi keseimbangan massa dalam sisem panasbumi di daerah telitian dikarenakan suplai air hujan (yang masuk) lebih besar dari *heat loss* (yang keluar). Dengan kata lain potensi *recharge* lebih besar daripada panas yang keluar ke permukaan dengan demikian *sustainable* sistem panasbumi dapat dijaga kesinambungannya.
- Berdasarkan survei lapangan di daerah telitian, geologi daerah telitian termasuk dalam 4 satuan batuan yaitu Lava Gunung Sumbing (Qls), Satuan Breksi Vulkanik Formasi Kaligetas (Qpkg), Satuan Batulempung Formasi Kerek (Tmk), Satuan Intrusi Andesit (Tma), Satuan Batuan Lava Andesit (Qhg).
- Sistem Hidrogeologi daerah telitian adalah sistem reservoir yang mempunyai

harga porositas serta permeabilitas yang baik sehingga mampu menyimpan dan meluluskan airtanah dalam jumlah cukup besar dan cukup suplesi. Lithologi yang berperan adalah batupasir dan batugamping.

Daftar Pustaka

Badan Geologi, (2011), Penyelidikan Geologi Lingkungan Daerah Ungaran (Kabupaten Semarang), <http://airtanah.bgl.esdm.go.id>.

Budiardjo, B., Nugroho dan Budihardi, M. (1997), *Resource Characteristics of the Ungaran Field, Central Java, Indonesia*, Proceeding of National Seminar of Human Resources Indonesian Geologist, Yogyakarta.

BMKG Semarang, (2011), Data Klimatologi Daerah Ungaran Tahun 2006-2010, Badan Meteorologi, Klimatologi & Geofisika, Stasiun Semarang.

Direktorat Geologi Tata Lingkungan (DGTL), (2011), Potensi cekungan Air Tanah Semarang-Ungarn, Jawa Tengah, <http://www.scribd.com/doc>

FAO Irrigation and Drainage Paper, (1977), *"Guidlines For Predicting Crop Water Requirement"*, Rome.

Giggenbach, W.F. (1991), *Chemical Techniques In Geothermal*

Exploration: In Applications of Geochemistry In Geothermal Reservoir Development (ed,

F.D'Amore), hal 119-144.

Jagranatha, IB., Widagda (2005), Recharge Calculation of Lahendong Geothermal field in North Sulawesi, Indonesia

Siripongsatian, S., 1994, Surface Alteration Study In The North Part of Tokaanu-

Thanden, R. E., Sumadirdja., Richards., Sutisna & Amin (1996), *Geological Map of the Magelang and Semarang Sheets, Java, scale 1: 100.000*, Systematic Geological Map, Indonesia, Geological Research and Development Centre, Indonesia.

Van Bemmelen, R.W., (1941), *Geologi Kaart Java Schaal 1:100.000*. First Edition, GSGS, USA.

_____ (1949), *The Geology of Indonesia*, Vol IA, Martinus Nijhoff, The Hargue, Amsterdam, 732 hal.

Steam Table, Thermodynamics : An Engineering Approach, 5th edition by Yunus A. Cengel and Michael A. Boles (1989).