

POTENSI AIRTANAH BERDASARKAN KARAKTERISTIK AIRTANAH PADA SETIAP SATUAN HIDROMORFOLOGI DI CEKUNGAN AIRTANAH PALU

Zeffitni*

Abstract

Water availability for various need are decreasing qualitatively and quantitatively, while on the other hand, water demand is increasing, thus, water management problem always occurs. This phenomenon is also found at Palu Groundwater Basin, Central Sulawesi Province, especially at Palu City. The distribution of groundwater potential, which has the spatial and temporal characteristics, caused insufficient domestic needs at Palu City. Thus, according to the problem, the research objectives to analyze groundwater potential based on groundwater characteristics on each hydromorphology units.

The research method is survey method as a basis for spatial and ecological analysis, with landform and geology condition as a basis to determine groundwater sample point. Data analysis method in this research consists of: the analysis for field data and analysis for hypothesis testing. Field data analysis consists of technical analysis to determine hydromorphology units. Hypothesis testing analysis are done according to research objectives based on spatial and ecological analysis, and integration of geomorphologic and geologic approach.

The result of the research shows that: groundwater potential level based on groundwater characteristics are at alluvial plains hydromorphology unit in Alluvium and Pakuli Formation, which distributed from high – medium. The research findings shows that Palu Groundwater Basin are one of the groundwater basin in Palu Basin, formed due to geological structure (Palu Graben), the Palu fault (sesar). The inflow boundary is located at east and west of Palu River, which is from bent slope of structural hills, the Gawalise Mountain and Tanggungguno Mountain. The outflow boundary is located at the north, the Palu Gulf.

Keyword: *spatial and ecological analysis, geomorphologic and geologic approach, hydromorphology units*

1. Latar Belakang

Ketidakeimbangan antara ketersediaan dan kebutuhan (*supply and demand*) merupakan permasalahan yang kompleks dalam pengelolaan air di Cekungan Airtanah (CAT) Palu khususnya Kota Palu. Pemompaan optimal pada suatu akuifer merupakan dasar bagi penentuan tingkat penggunaan air dari sumber airtanah tapi dalam kenyataan ini sulit untuk ditentukan jika tidak mempertimbangkan potensi kuantitatif dan kualitatif airtanah yang terdistribusi secara spasial dan temporal. Peningkatan jumlah penduduk dan pengembangan berbagai sektor seperti domestik, industri, jasa, pertanian dan sektor lainnya di Kota Palu, yang secara langsung maupun tidak langsung juga menuntut penyediaan sumber air bersih yang semakin meningkat. Jika hal ini tidak diantisipasi maka degradasi kuantitas dan kualitas airtanah akan terus meningkat. Kondisi ini akan semakin

meningkat jika diiringi dengan pemahaman yang keliru tentang fenomena airtanah, disamping karena dampak dari pembangunan serta aktivitas manusia.

Pendekatan utama dalam penelitian ini adalah analisis spasial dan kelingkungan, serta pendekatan geomorfologi dan geologi dengan metode survei sebagai dasar untuk analisis spasial dan kelingkungan. Permasalahan dalam penelitian ini dibatasi: Bagaimana Potensi Airtanah Berdasarkan Karakteristik Airtanah Pada Setiap Satuan Hidromorfologi di Cekungan Airtanah Palu. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi airtanah bebas dan tertekan berdasarkan karakteristik airtanah pada setiap satuan hidromorfologi. Hipotesis penelitian yaitu potensi airtanah pada setiap satuan hidromorfologi memiliki karakteristik airtanah yang berbeda dan ditentukan oleh karakteristik akuifer pada setiap sistem akuifer.

* Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

2. Tinjauan Pustaka

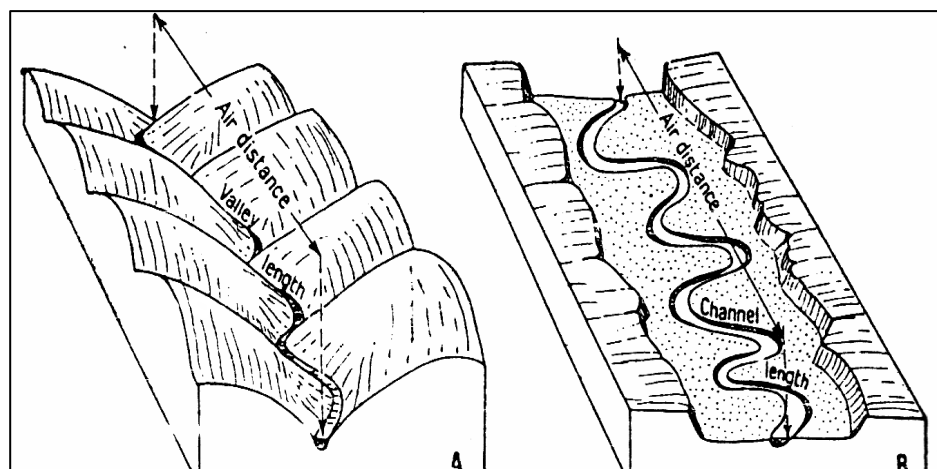
2.1 Cekungan Airtanah

Boonstra dan Ridder (1981) menjelaskan bahwa pada suatu cekungan airtanah mengalami proses hidrologi yang berlangsung secara terus menerus. Proses penambahan volume airtanah dalam cekungan melalui proses perkolasi dari air permukaan, sebaliknya volumenya akan berkurang akibat proses evapotranspirasi, pemunculan sebagai mataair, serta adanya aliran menuju sungai. Faktor litologi sangat menentukan terhadap kecepatan proses perkolasi air permukaan. Keterdapatn endapan aluvial merupakan ciri utama litologi suatu cekungan airtanah.

Todd (1980) berpendapat bahwa cekungan airtanah merupakan suatu satuan hidrogeologi yang terdiri dari satu atau beberapa bagian akuifer yang saling berhubungan membentuk suatu sistem dan dapat berubah akibat perubahan lingkungan. Hadian dkk., (2006) menambahkan bahwa airtanah merupakan air inter koneksi secara terbuka pada batuan saturasi di bawah permukaan tanah, baik pada zona jenuh maupun tidak jenuh. Pada zona jenuh, terdapat sistem air jenuh berupa air bawah tanah. Sistem ini dipengaruhi oleh kondisi geologi, hidrogeologi, dan gaya tektonik yang membentuk cekungan airtanah.

Pada pendapat lain Gregory dan Walling (1973) menjelaskan bahwa cekungan airtanah merupakan suatu area dengan air yang berasal dari aliran permukaan. Cekungan airtanah merupakan salah satu contoh dari sistem geomorfologi. Penggunaan sistem geomorfologi sangat tepat untuk menunjukkan hubungan antara bagian - bagian sistem dalam suatu objek. Sistem aliran airtanah dipengaruhi oleh beberapa faktor. Hubbert (Gregory dan Walling, 1973) menambahkan bahwa aliran airtanah disebabkan oleh beda potensial fluida.

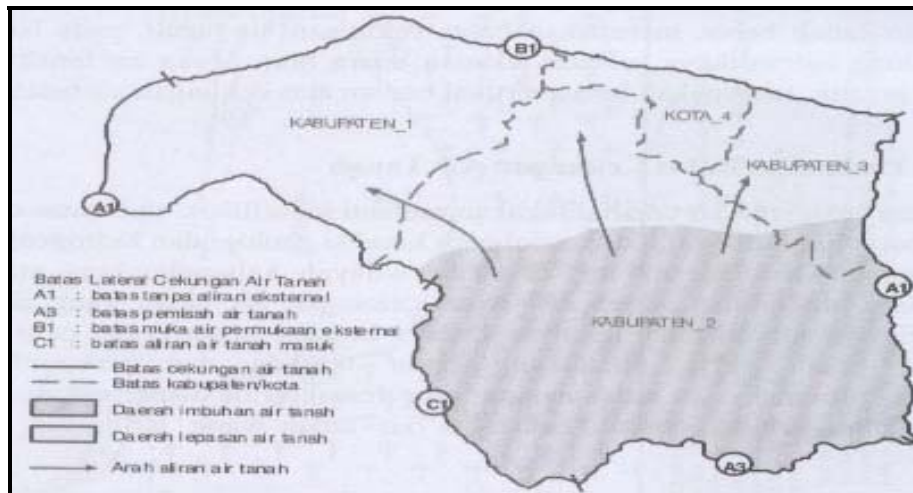
Toth (Gregory dan Walling, 1973) menunjukkan model matematika dari sistem aliran tetap airtanah berdasarkan persamaan Laplace, dengan menggunakan pola dasar Hubbert. Pada model tersebut pola aliran airtanah dapat diidentifikasi secara hipotetikal geologi baik secara isotropik dan homogen dengan perubahan topografi sebagai spesifik area yang disebut dengan batas tekanan. Gambar 1. menunjukkan hubungan antara topografi dengan gradien hidraulik. Gradien hidraulik pada topografi bergelombang, seperti di daerah lembah lebih pendek dibandingkan dengan gradien hidraulik pada topografi relatif datar, seperti di dataran aluvial sungai.



a. Gradien Hidraulik Pada Lembah

b. Gradien Hidraulik Pada Sungai

Gambar 1. Hubungan Topografi dan Gradien Hidraulik (Gregory dan Walling, 1973)



Gambar 2. Contoh Cekungan Airtanah Lintas Kabupaten / Kota (Pusat Lingkungan Geologi, 2007)

Secara alamiah cekungan airtanah dibatasi oleh batas hidrogeologi yang dikontrol oleh kondisi geologi dan atau hidrolika airtanah, serta pada umumnya tidak sama dengan batas wilayah pemerintahan. Berdasarkan pembatasannya, terdapat cekungan airtanah yang utuh di dalam kabupaten / kota, lintas kabupaten / kota, lintas propinsi dan bahkan lintas negara (Pusat Lingkungan Geologi, 2007). Pada Gambar 2. terlihat bahwa suatu batas cekungan airtanah tidak sama dengan batas wilayah pemerintahan. Berkaitan dengan kajian penelitian, konsep batas cekungan menurut Pusat Lingkungan Geologi (2007) juga ditemui di CAT Palu. CAT Palu secara administratif pemerintahan, mencakup Kota Palu sebagai Ibukota Provinsi Sulawesi Tengah serta sebagian Kabupaten Donggala dan Sigi.

2.2 Pendekatan Geomorfologi dan Geologi Pada Kajian Airtanah

Geomorfologi berkaitan erat dengan airtanah. Adanya rembesan atau mataair merupakan salah satu contoh pengaruh geomorfologi terhadap airtanah. Mataair (*spring*) merupakan pemusatan pengeluaran airtanah yang muncul di permukaan tanah sebagai arus dari aliran air. Keberadaan mataair dikontrol oleh curah hujan, karakteristik hidrologi material permukaan tanah terutama kelulusannya, kondisi topografi, kondisi atau tipe geologi dan geometri akuifer, serta struktur geologi

(Brown *et al.*, 1972; Tolman, 1937). Menurut Todd (1959,1980) dan Walton (1970) bahwa perbedaan litologi akan mempengaruhi ketersediaan airtanah. Informasi litologi, stratigrafi dan struktur geologi dapat dikaji melalui pendekatan geomorfologi terutama yang menekankan pada bentuklahan. Pada pendapat lain Mekel (Thornburry, 1959) dan Sutikno (1994) berpendapat bahwa perbedaan litologi akan mempengaruhi konfigurasi relief, sedangkan menurut Todd (1959,1980) akan mempengaruhi ketersediaan airtanah. Bermuzed dan Albaladejo (Wit, 2001) mengemukakan bahwa satuan geologi dan geomorfologi merupakan pengontrol terhadap konsentrasi aliran permukaan.

Rider (1972) menjelaskan bahwa satuan bentuklahan pada umumnya akan mempengaruhi agihan airtanah. Salah satu pendekatan geomorfologi untuk kajian airtanah adalah untuk menyusun peta morfohidrologi seperti yang diungkapkan oleh Verstappen dan Van Zuidam (1968). Faktor relief merupakan pencerminan interaksi antara faktor litologi dan proses, serta merupakan faktor kontrol utama terhadap satuan bentuklahan. Satuan bentuklahan dapat mencerminkan agihan airtanah, yang variasinya terkontrol oleh faktor - faktor litologi, relief dan stratigrafi serta struktur perlapisan batuan. Verstappen (1977,1983) dan Sutikno (1989) mengemukakan konsep satuan hidromorfologi yang disusun berdasarkan unsur morfologi dan litologi

terutama yang berkaitan dengan sifatnya terhadap ketersediaan air. Bentuklah sebagai salah satu aspek dari geomorfologi yang dicirikan oleh tipe relief, tipe litologi dan genesis akan mencerminkan ketersediaan air di suatu daerah. Setiap satuan bentuklah memiliki potensi dan respon tertentu terhadap air, sehingga satuan bentuklah merupakan satuan hidromorfologi.

Aspek-aspek penting yang termasuk dalam kajian airtanah adalah kondisi geologi (litologi, stratigrafi, dan struktur), kondisi geomorfologi (morfologi, morfodinamik, morfokronologi dan morfoaransemen), siklus hidrologi yang berpengaruh terhadap perputaran dan perubahan air di bumi, dan mekanika fluida yang berkaitan dengan pergerakan airtanah dalam berbagai formasi geologi. Morfologi yang menentukan ukuran dan bentuk dari relief permukaan bumi, akan berpengaruh terhadap keterdapatannya, kejadian, dan arah gerakan airtanah. Perubahan topografi permukaan akan berpengaruh terhadap arah gerakan dan kedalaman muka freatik. Morfoproses akan berpengaruh terhadap permeabilitas, porositas, infiltrasi, agihan dan luas daerah tangkapan hujan (*recharge area*) yang merupakan suplai airtanah, dan secara tidak langsung berpengaruh terhadap proses pembentukan akuifer. Morfostruktur juga berpengaruh terhadap kedudukan muka freatik airtanah, arah gerakan dan tipe airtanah. Morfokronologi berpengaruh terhadap kualitas dan cadangan airtanah sedangkan morfoaransemen berpengaruh terhadap ketersediaan airtanah dari segi kuantitas (kemampuan akuifer untuk memenuhi kebutuhan airtanah).

Berdasarkan hasil telaah pustaka tersebut maka dapat disimpulkan bahwa pendekatan geomorfologi dan geologi pada kajian airtanah di Cekungan Airtanah Palu Provinsi Sulawesi Tengah dapat digunakan untuk penentuan potensi airtanah. Satuan bentuklah dan geologi pada umumnya akan menunjukkan karakteristik airtanah dan menentukan terhadap agihan airtanah di daerah penelitian.

3. Cara Penelitian

Penelitian Potensi Airtanah di CAT Palu Provinsi Sulawesi Tengah, dengan luas ± 3.481 km². CAT Palu merupakan salah satu dari cekungan airtanah di dalam Cekungan Palu. Pertimbangan fenomena dan problematik airtanah di CAT Palu, maka penelitian lebih difokuskan di CAT Palu

dengan luas $\pm 474,60$ km². Kondisi geomorfologi dan geologi daerah penelitian yang bervariasi serta luasan bentuklah yang berbeda maka metode penelitian yang digunakan adalah metode survei. Teknik pengambilan sampel airtanah dilakukan secara *random* dan *proportional sampling*. Metode analisis yang digunakan meliputi analisis potensi airtanah bebas dan tertekan berdasarkan karakteristik airtanah pada setiap satuan hidromorfologi.

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan batasan secara konseptual tentang "**Cekungan Palu dan Cekungan Airtanah Palu**". Cekungan Palu merupakan batas pemisah aliran air permukaan atau merupakan batas DAS Palu. Secara geomorfologi merupakan batas lateral cekungan dan secara geologi merupakan batas vertikal aliran airtanah (*flow-controlled boundaries*). Batas lateral CAT Palu, berada di bagian tepi CAT bagian timur dan barat, atau pada tekuk lereng perbukitan struktural Gunung Tanggunguno dan Gunung Gawalise. Berdasarkan kondisi geomorfologi terdiri atas: satuan bentuklah bentukan asal fluvial (dataran aluvial) dan denudasional (perbukitan denudasional). Litologi dan stratigrafi yang menyusun akuifer terdiri atas: Aluvium dan Formasi Pakuli (Formasi Molasa Celebes Sarasin dan Sarasin) dengan litologi yang bervariasi. Aluvium merupakan stratigrafi utama penyusun CAT Palu, dengan luas $\pm 202,10$ km² dengan agihan seluas 129,66 km² pada bagian timur dan seluas 72,44 km² pada bagian barat. Formasi Pakuli disebut juga Formasi Molasa Celebes Sarasin dan Sarasin, dengan luas + 272, 50 km², agihan di bagian timur CAT Palu seluas 182,74 km² dan di bagian barat CAT Palu seluas 89,76 km².

Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur geologi utama CAT Palu didominasi oleh struktur graben yang dikenal dengan Sesar Palu yang berarah utara – barat laut. Struktur geologi lainnya disamping struktur utama (*main structure*) adalah struktur sesar geser atau mendatar dan sesar normal. Berdasarkan konfigurasi sistem akuifer maka sistem akuifer CAT Palu terdiri atas sistem akuifer dataran aluvial dan perbukitan denudasional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa berdasarkan karakteristik airtanah pada setiap satuan hidromorfologi dan hidrogeologi bahwa

tingkat potensi airtanah berkisar dari sedang - tinggi. Berdasarkan bentuklahan berada di satuan

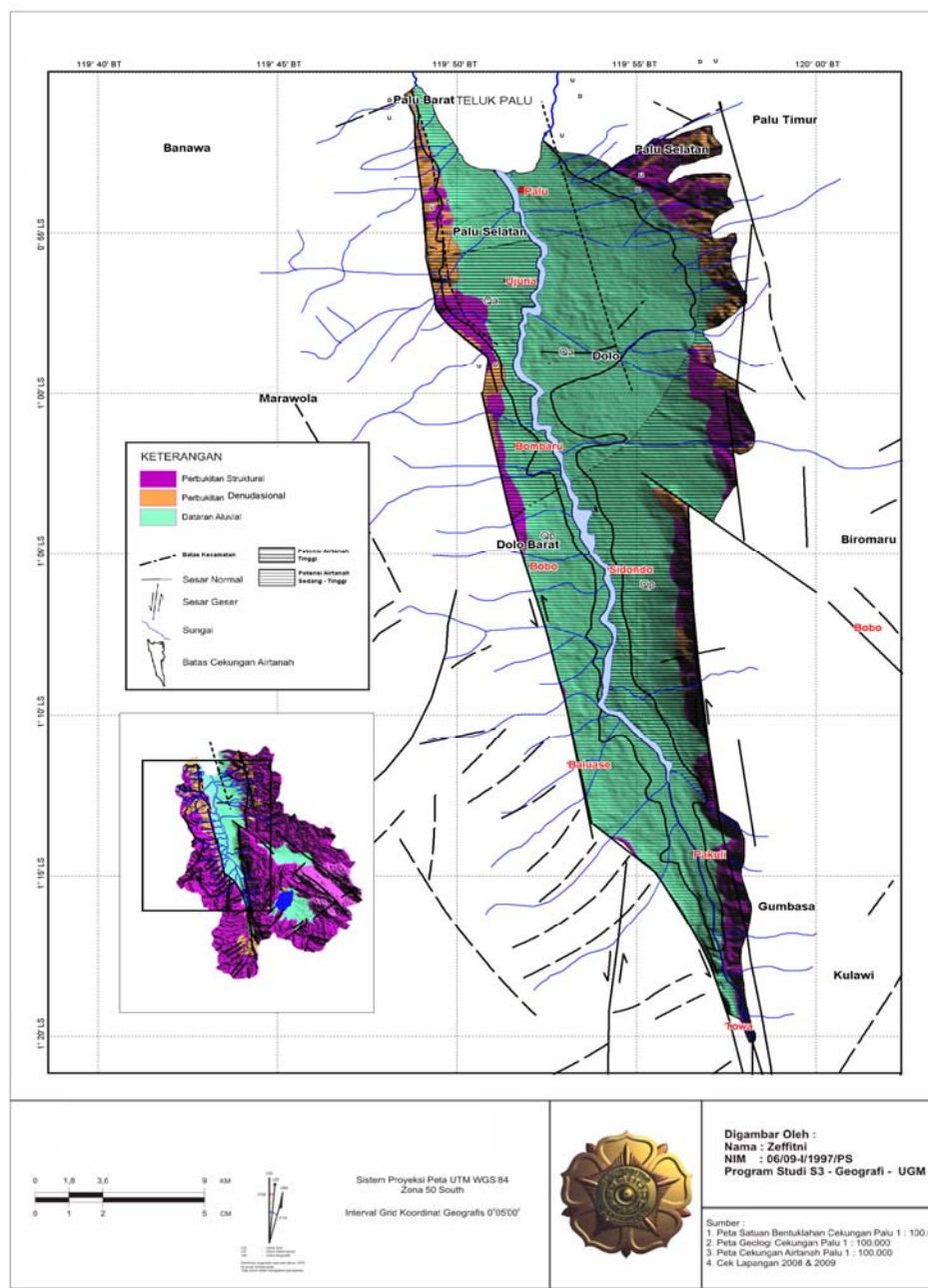
hidromorfologi dataran aluvial. Tingkat potensi airtanah disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tingkat Potensi Relatif Airtanah Berdasarkan Hasil Analisis Karakteristik Airtanah Pada Setiap Satuan Hidromorfologi dan Hidrogeologi di CAT Palu

Type	Lokasi	Hasil Analisis Karakteristik Airtanah										Tingkat Potensi Relatif			Hasil Analisis Sistem Aliran Akuifer			
		TMA	Klas	Fluktuasi	Klas	K	Klas	Kedalaman	Klas	Qs	Klas	Kuantitas	Klas	Potensi		Klas	Satuan	
I. Cekungan Airtanah Bagian Timur																		
B	Palu Timur	2,25	D1	0,60	FI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D1.F1.K0.Q3.M1	Sedang
T		3,57	Pz1	-	-	-	D0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Pz1.D0.T0.Qs0.Q0.M1	Sedang - Tinggi
MA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Q3.M1	Sedang
B	Palu Selatan	2,35	D1	0,67	FI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D1.F1.K0.Q3.M1	Sedang
T		15,93	Pz3	-	-	-	D0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Pz3.D0.T0.Qs0.Q0.M1	Sedang - Tinggi
MA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Q3.M1	Sedang
B	Dolo	1,54	D1	0,55	FI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D1.F1.K0.Q3.M1	Sedang
T		-	Pz0	-	-	-	D0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Pz0.D0.T0.Qs0.Q0.M0	Sedang - Tinggi
MA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Q3.M1	Sedang
B	Bironaru	2,27	D1	0,85	FI	49,18	K1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D1.F1.K1.Q2.M1	Tinggi
T		13,97	Pz3	-	-	-	D2	36,00	41,32	Q1	1,95	MI	Tinggi	A	Pz3.D2.T1.Qs2.Q1.M1	Tinggi		
MA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Q3.M1	Sedang
B	Gumbasa	2,70	D1	0,80	FI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D1.F1.K0.Q2.M1	Sedang - Tinggi
T		-	Pz0	-	-	-	D0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Pz0.D0.T0.Qs0.Q0.M0	Sedang - Tinggi
MA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Q1.M1	Tinggi
II. Cekungan Airtanah Bagian Barat																		
B	Palu Barat	1,38	D1	0,59	FI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D1.F1.K0.Q2.M1	Sedang - Tinggi
T		12,15	Pz3	-	-	-	D0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Pz3.D0.T0.Qs0.Q0.M1	Sedang - Tinggi
MA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Q3.M1	Sedang
B	Palu Selatan	1,79	D1	0,83	FI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D1.F1.K0.Q2.M1	Sedang - Tinggi
T		2,70	Pz1	-	-	-	D0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Pz1.D0.T0.Qs0.Q0.M1	Sedang - Tinggi
MA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Q3.M1	Sedang
B	Marawola	1,90	D1	0,71	FI	57,00	K1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D1.F1.K1.Q2.M1	Tinggi
T		4,09	Pz1	-	-	-	D2	37,50	124,90	Q1	2,00	MI	Tinggi	A	Pz1.D2.T1.Qs1.Q1.M1	Tinggi		
MA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Q1.M1	Tinggi
B	Dolo Barat	1,65	D1	0,48	FI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D1.F1.K0.Q2.M1	Sedang - Tinggi
T		-	Pz0	-	-	-	D0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Pz0.D0.T0.Qs0.Q0.M0	Sedang - Tinggi
MA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Q1.M1	Sedang
B	Dolo Selatan	1,75	D1	0,57	FI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D1.F1.K0.Q2.M1	Sedang - Tinggi
T		-	Pz0	-	-	-	D0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Pz0.D0.T0.Qs0.Q0.M0	Sedang - Tinggi
MA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Q1.M1	Sedang
B	Palu Barat	1,96	D1	0,66	FI	53,09	K1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D1.F1.K1.Q2.M1	Sedang - Tinggi
T		8,73	Pz2	-	-	-	D2	36,75	83,24	Q1	1,99	MI	Tinggi	A/B	Pz2.D2.T1.Qs1.Q1.M1	Sedang - Tinggi		
MA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Q2.M1	Sedang - Tinggi

Ket: B: Airtanah Bebas, T: Airtanah Terkekam, MA: Mataair, Nihil: tidak ada data, S-T: Sedang - Tinggi

Sumber: Hasil Analisis, 2009



Gambar 3. Peta Satuan Hidromorfologi Dataran Aluvial CAT Palu (Hasil Analisis Satuan Bentuklahan dan Karakteristik Airtanah, 2009)

5. Kesimpulan

- a. CAT Palu merupakan bagian dari Cekungan Palu. Daerah ini terbentuk sebagai akibat dari struktur geologi (Graben Palu), yaitu sesar Palu.

- b. Struktur Graben yang membentuk Cekungan Palu dan CAT Palu.
- b. Konfigurasi sistem akuifer CAT Palu terdiri atas sistem akuifer dataran aluvial sebagai sistem akuifer utama dan perbukitan denudasional.

CAT Palu dibagi atas cekungan airtanah bagian timur dan barat, yang pisahkan oleh Sungai Palu. CAT Palu terdiri atas bentuklahan dataran aluvial dan perbukitan denudasional. Di bagian timur berbatasan dengan tekuk lereng perbukitan struktural Gunung Tanggunguno dan di bagian barat dengan Gunung Gawalise. Litologi dan stratigrafi yang menyusun CAT Palu terdiri atas Aluvium dan Formasi Pakuli dengan litologi yang bervariasi.

- c. Terdapat perbedaan batasan secara konseptual **"Cekungan Palu dan Cekungan Airtanah Palu"**. Cekungan Palu merupakan batas pemisah aliran air permukaan atau merupakan batas DAS Palu. Secara geomorfologi merupakan batas lateral cekungan dan secara geologi merupakan batas vertikal aliran airtanah (*flow-controlled boundaries*). CAT Palu merupakan salah satu cekungan airtanah di dalam Cekungan Palu, disamping: CAT Bobo, CAT Langko, dan sebagian CAT Watutua.
- d. Berdasarkan bentuklahan CAT Palu, maka secara umum terdiri atas satuan hidromorfologi dataran aluvial. Agihan potensi airtanah berdasarkan karakteristik airtanah pada satuan hidromorfologi dataran aluvial berada di seluruh bagian CAT Palu dengan tingkat potensi sedang - tinggi.

6. Daftar Pustaka

- Brown, R.H., Konoplyantsev, A.A., and Elneson, J. 1972. *Groundwater Studies*. Unesco. Paris.
- De Rider, N.A. 1972. Hydrogeology of Different Types of Plain. *ILRI*. Wageningen.
- Gregory, K.J. and Walling, D.E. 1973. *Drainage Basin Form and Process*. Fletcher and Son Ltd. Norwich.
- Hadian, M.S.D, Mardiana, U., dan Abdurahman, O. 2006. Sebaran Akuifer dan Pola Aliran Airtanah di Kecamatan Batuceper dan Kecamatan Benda Kota Tangerang, Provinsi Banten. *Jurnal Geologi Indonesia, Vol.1 No.3 September 2006:115-128*. Pusat Geologi Lingkungan. Bandung.
- Pusat Lingkungan Geologi. 2007. *Kumpulan Panduan Teknis Pengelolaan Airtanah*. Pusat Lingkungan Geologi. Bandung.
- _____. 1989. Kajian Bentuk Lahan Untuk Pemintakatan Sistem Penyediaan Air

Bersih di DAS Serang, Kulon Progo. *Laporan Penelitian*. Fakultas Geografi UGM. Yogyakarta.

- _____. 1994. Pendekatan Geomorfologi Untuk Kajian Airtanah Dangkal Di Perbukitan Dome Sangiran, Jawa Tengah. *Majalah Geografi Indonesia*. Tahun 6 - 8 Nomor. 10 - 13. Fakultas Geografi UGM. Yogyakarta.
- Thornburry, W.D. 1959. *Geomorphology*. Mc.Graw Hill. London.
- Todd, D.K. 1980. *Groundwater Hydrology*. John Willey and Sons, Inc. New York.
- Tolman, C.F. 1937. *Groundwater*. Mc Graw – Hill Book Company Inc. New York.
- Verstappen, H.Th. 1977. *Remote Sensing in Geomorphology*. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam.
- Verstappen, H.Th. 1983. *Applied Geomorphology. Geomorphological Surveys for Environmental Development*. Elsevier Amsterdam Oxford New York.
- _____. 2000. *The Geomorphology of Indonesia*. ITC. The Netherland.
- Verstappen, H.Th and Van Zuidam, R.A. 1968. *System of Geomorphological Survey*. ITC. Delf.
- Walton, W.C. 1970. *Groundwater Resources Evaluation*. Mc. Graw Hill Company. New York.
- Wit, D.A. 2001. Runoff Controlling Factors in Various Sized Catchments in A Semi-Arid Mediterranean Environment in Spain. *Journal Nederlandse Geografische Studies* 284. ISSN 0169 - 4839. Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen, Universiteit Utrecht.

Ucapan Terima kasih

Kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, Universitas Gadjah Mada, yang telah membantu penyelesaian penelitian ini melalui Hibah Penelitian Untuk Mahasiswa Program Doktor Tahun Anggaran 2009. Terimakasih tidak terhingga kepada Tim Promotor: Prof. Dr. Sudarmadji, M.Eng,Sc, Prof. Dr. A.J. Suhardjo, M.A, dan Prof. Dr. Suratman, M.Sc.