**Karakteristik Hidrolika Batuan Sedimen Tersier
Berdasarkan Analisis Uji Pemompaan
di Kabupaten Cilacap dan Banyumas, Provinsi Jawa Tengah**

*Hydraulic Characteristics of Tertiary Sedimentary Rocks
Based on The Pumping Test Analysis
In Cilacap And Banyumas Regencies, Central Java Province*

Taat Setiawan

Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan, Badan Geologi, KESDM

Jl. Diponegoro 57 Bandung, 40122 Indonesia

Naskah diterima tanggal 11 April 2017, selesai direvisi tanggal 07 November 2017,

dan disetujui 10 November 2017

e-mail: taat_setia@yahoo.com

ABSTRAK

Sebagian wilayah Kabupaten Cilacap dan Banyumas memiliki tipologi akuifer sedimen terlipat yang tersusun atas batuan berumur Tersier Formasi Halang, Kumbang, dan Tapak. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik hidrolika dan potensi air tanah batuan tersebut berdasarkan analisis uji pemompaan sumur bor air tanah. Hasil analisis menunjukkan batuan tersebut memiliki karakter akuifer semitertekan hingga tertekan. Nilai konduktivitas hidrolika dan permeabilitas intrinsik menunjukkan batuan tersebut relatif bersifat sebagai akuifer dengan karakter hidrolika sama dengan lanau, lanau pasir, dan pasir lempungan. Kuantitas air tanah berdasarkan transmisivitas akuifer menunjukkan potensi jelek hingga sedang untuk kebutuhan domestik, dan potensi sangat jelek untuk kebutuhan irigasi. Nilai kapasitas jenis sumur bor menunjukkan pemompaan dengan debit 1 hingga 2 l/det. masih bisa diharapkan.

Kata kunci: karakteristik hidrolika, air tanah, sedimen tersier, uji pemompaan

ABSTRACT

Parts of the Cilacap and Banyumas Regencies have folded sedimentary aquifer typology that consist of Tertiary Sediment of Halang, Kumbang, and Tapak Formations. This study was conducted to determine the hydraulic characteristics and groundwater potential of these rocks based on a pumping test analysis. The analysis shows the rocks have confined and semiconfined aquifer characters. Based on rock hydraulic conductivity and permeability values, the aquifer has similar character to silt, sandy silt, and silty sand. Groundwater quantity, based on aquifer transmissivity, indicates poor to moderate for domestic need and insufficient for irrigation purpose. The specific capacity value shows that pumping rate of 1 to 2 l/sec. can be expected.

Keywords: hydraulic characteristics, groundwater, tertiary sediment, pumping test

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Sebagian wilayah Kabupaten Cilacap dan Banyumas secara geologis tersusun atas batuan sedimen berumur Tersier (Kastowo, 1975; Asikin drr., 1992; Simandjuntak dan Surono, 1992; serta Djuri drr., 1996). Batuan tersebut merupakan bagian dari Formasi Halang, Kumbang, dan Tapak. Mengacu pada Mandel dan Shiftan (1981), berkaitan dengan ketersediaan air tanahnya, daerah ini termasuk ke dalam tipologi akuifer batuan sedimen terlipat. Menurut Puradimaja (1993), tipologi akuifer pada batuan sedimen terlipat dibentuk oleh proses tektonik yang sangat kuat. Kondisi tektonik tersebut memberikan deformasi terhadap satuan-satuan geologi yang terendapkan dalam berbagai cekungan sedimen yang ada. Singhal dan Gupta (1999) menyebutkan bahwa akuifer pada tipologi ini umumnya terdapat pada lapisan batu pasir dengan potensi air tanah yang rendah. Hal tersebut berkaitan dengan rendahnya porositas, konduktivitas hidrolika, dan kapasitas jenis batuan akibat proses kompaksi dan sementasi.

Rendahnya potensi air tanah pada tipologi batuan tersebut menyebabkan daerah penelitian merupakan daerah sulit air, terutama pada saat musim kemarau. Hal tersebut sebagaimana dikutip dari Sindonews

(2012) yaitu dari lima daerah di Jawa Tengah yang mengalami kekurangan air bersih, dua di antaranya adalah Kabupaten Banyumas sebanyak 64 desa dan Kabupaten Cilacap sebanyak 31 desa. Untuk mengatasi masalah kekeringan di daerah tersebut dan daerah lain di Indonesia, Pemerintah melalui Badan Geologi Kementerian ESDM sejak tahun 1995 telah melakukan pengeboran eksplorasi air tanah di daerah sulit air. Kegiatan tersebut baru sekitar satu dasawarsa terakhir secara intensif dilakukan, dan telah terbukti dapat menjadi salah satu solusi dalam penyediaan air bersih di daerah sulit air. Berkaitan dengan hal tersebut di atas, analisis karakteristik hidrolika pada batuan sedimen Tersier terhadap ketersediaan air tanah di daerah penelitian sangat penting artinya sebagai dasar evaluasi dan perencanaan pengembangan eksplorasi air tanah di daerah sulit air.

Lokasi Penelitian

Daerah penelitian terletak di wilayah Provinsi Jawa Tengah bagian barat, yaitu Kabupaten Cilacap dan Banyumas (Gambar 1). Penelitian dilakukan pada enam sumur bor yang terdapat pada batuan sedimen berumur Tersier, yaitu empat lokasi pada Formasi Halang dan masing-masing satu lokasi pada Formasi Kumbang dan Tapak (Tabel 1).

Gambar 1. Lokasi penelitian.

Tabel 1. Lokasi Pengeboran Air Tanah di Daerah Penelitian

ID	Koordinat		Lokasi	Formasi Batuan	Kedalaman Sumur Bor (m)
	X	Y			
SB-1	274526	9180877	Desa Dermaji, Kecamatan Lumbir, Banyumas	F. Halang	125
SB-2	289970	9170891	Desa Karangtalun Kidul, Kecamatan Purwojati, Banyumas	F. Halang	125
SB-3	262758	9173189	Desa Karanganyar, Kecamatan Gandrungmangu, Cilacap	F. Halang	126
SB-4	279228	9162388	Desa Prapagan, Kecamatan Jeruklegi, Cilacap	F. Halang	150
SB-5	247270	9185152	Desa Bantar, Kecamatan Wanareja, Cilacap	F. Tapak	125
SB-6	260576	9177270	Desa Penyarang, Kecamatan Sidareja, Cilacap	F. Kumbang	126

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik hidrolika dan potensi air tanah pada formasi batuan sedimen Tersier berdasarkan analisis data uji pemompaan sumur bor air tanah di daerah penelitian. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar evaluasi dan perencanaan pengembangan eksplorasi air tanah di daerah sulit air.

Geologi Daerah Penelitian

Daerah penelitian berdasarkan pembagian zona fisiografi Jawa dan Madura terletak pada Pegunungan Serayu Selatan, di antara Zona Depresi Jawa Tengah yang membentuk kubah dan punggung (Bemmelen, 1949). Karakteristik morfologi daerah ini berupa perbukitan antiklin yang dipotong oleh aliran Sungai Serayu dan berkembang menjadi antiklinorium dengan lebar mencapai 30 km di daerah selatan Banjarnegara (Gambar 2).

Sejarah geologi daerah ini dipengaruhi oleh kondisi genang laut (*transgressi*) dan susut laut (*regressi*) selama kala Oligosen-Pliosen yang telah membentuk berbagai jenis batuan sedimen padu, ditutupi secara tidak selaras oleh batuan gunung api yang pembentukannya berlangsung sampai kala Plio-Plistosen (Asikin drr., 1992). Suheli (2013) menyebutkan bahwa stratigrafi daerah penelitian dimulai dengan pengendapan satuan batu pasir selang-seling batu lempung sisipan breksi Formasi Halang pada kala Miosen Akhir-Pliosen awal atau N14-N18, dan merupakan endapan turbidit sistem laut dalam bagian atas *Upper fan-Lower fan*. Di atas Formasi Halang pada kala Pliosen Awal (N19) diendapkan satuan batuan breksi sisipan batu pasir Formasi Kumbang yang merupakan endapan

Gambar 2. Pembagian zona fisiografi regional Jawa Tengah (Modifikasi dari Bemmelen, 1949).

turbidit sistem kipas laut dalam bagian atas *Chanel fill* dari *Uper fan*. Hubungan stratigrafi Formasi Kumbang terhadap Formasi Halang adalah selaras. Pada kala Pliosen Awal-Pliosen Akhir (N20-N21) daerah ini mengalami pengangkatan disertai pengendapan satuan batu lempung selang-seling batu pasir Formasi Tapak secara selaras di atas satuan batuan Formasi Kumbang pada lingkungan pengendapan Neritik Tengah.

Formasi Halang dominan tersusun atas satuan batu pasir selang-seling batu lempung sisipan konglomerat dan breksi (Ismiralda, 2013). Hasil pengukuran pada penampang geologi diperoleh ketebalan di atas 812,5 m, sedangkan menurut literatur ketebalan Formasi Halang mencapai 2.400 m. Hasil analisis petrografi memperlihatkan batu pasir jenis *Arkose Wacke* dan *Calcareous*

Lithic Wacke. Formasi Kumbang tersusun atas breksi dengan sisipan batu pasir dan lava andesit (Ismiralda, (2013). Ketebalan yang diperoleh berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran stratigrafi yaitu 325 m, sedangkan ketebalan satuan ini mencapai 2.000 m dan menipis ke arah bagian utara dan selatan. Formasi Tapak tersusun atas batu lempung selang-seling batu pasir (Pambudi, 2013) dengan ketebalan lebih dari 425 m (Suheli, 2013), dan secara regional dapat mencapai 500 m (Kastowo, 1975). Batuan tersebut berdasarkan analisis petrografi berupa *Lithic Wacke*. Penyebaran formasi batuan tersebut di daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 3, sedangkan sayatan geologi dapat dilihat pada Gambar 4.

Struktur geologi daerah penelitian secara umum mengikuti tiga pola kelurusan struktur utama di

Pulau Jawa, dari tua ke muda yaitu pola Meratus yang berarah timur laut – barat daya, pola Sunda yang berarah utara - selatan, dan pola Jawa yang berarah barat - timur (Pulunggono dan Martodjojo, 1994). Menurut Kastowo (1975) struktur geologi yang dijumpai di daerah penelitian, berupa sesar, lipatan, kelurusan, dan kekar. Sesar yang dijumpai umumnya berarah barat laut - tenggara sampai timur laut – barat daya, berupa sesar naik, sesar normal, dan sesar geser. Pola lipatan yang terdapat di daerah ini berarah barat laut - tenggara. Kelurusan yang sebagian diduga sesar mempunyai pola penyebaran seperti pola sesar dengan arah umum barat laut - tenggara dan beberapa menunjukkan arah timur laut – barat daya. Kekar umumnya dijumpai dan berkembang baik pada batuan berumur Tersier dan Plistosen.

Gambar 3. Peta geologi daerah penelitian
(modifikasi dari Kastowo, 1975, Simandjuntak dan Surono, 1992, Asikin drr., 1992, Djuri, drr., 1996).

Gambar 4. Sayatan geologi daerah penelitian
(modifikasi dari Kastowo, 1975, Simandjuntak dan Surono, 1992, Asikin dr., 1992, Djuri, dr., 1996).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan analisis data uji pemompaan pada enam sumur bor yang terdapat pada batuan sedimen Tersier (Formasi Halang, Kumbang, dan Tapak) di wilayah Kabupaten Cilacap dan Banyumas. Analisis dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *open source* berbasis MS Excel (Halford dan Kuniansky, 2002). Data tersebut merupakan bagian dari kegiatan eksplorasi air tanah di daerah sulit air yang dilakukan oleh Badan Geologi, Kementerian ESDM.

Dasar Teori

Ketersediaan air tanah pada lapisan batuan sangat berkaitan dengan sifat hidrolikanya, yaitu permeabilitas intrinsik (k) dan konduktivitas hidrolika (K). Permeabilitas instrisik merupakan fungsi pori-pori yang terbuka, semakin kecil ukuran butir sedimen, gaya gesekan terhadap aliran semakin meningkat, sehingga nilai

permeabilitas intrinsik semakin berkurang (Fetter, 2001). Sementara konduktivitas hidrolika merupakan unit kecepatan dari kemampuan lapisan batuan untuk melakukan air (Todd, 1980). Konduktivitas hidrolika dipengaruhi oleh sifat fisik yaitu porositas, ukuran butir, susunan butir, bentuk butir, dan distribusinya. Rentang nilai permeabilitas intrinsik dan konduktivitas hidrolika batuan dapat dilihat pada Tabel 2 (Fetter, 2001). Berdasarkan atas Tabel 2 terlihat bahwa satuan permeabilitas intrinsik dengan satuan darcy adalah sekitar seribu kalisatuan konduktivitas hidrolika dengan satuan cm/det.

Menurut Fetter (2001) batuan sedimen klastik (terkonsolidasi) memiliki karakter permeabilitas primer yang sama dengan batuan sedimen lepas. Akan tetapi, proses diagenesis dapat mengurangi ukuran pori-pori antarbutiran karena adanya kompaksi dan sementasi. Fetter (2001) menyebutkan bahwa akuifer merupakan unit geologi yang dapat menyimpan dan melakukan

Tabel 2. Rentang Nilai Permeabilitas Intrinsik dan Konduktivitas Hidrolika pada Batuan Sedimen (Fetter, 2001)

Material	Permeabilitas Intrinsik (darcy)	Konduktivitas Hidrolika (cm/det.)
Lempung	$10^{-6} - 10^{-3}$	$10^{-9} - 10^{-6}$
Lanau, lanau pasir, pasir lempungan, <i>till</i>	$10^{-3} - 10^{-1}$	$10^{-6} - 10^{-4}$
Pasir lanauan, pasir halus	$10^{-2} - 10^0$	$10^{-5} - 10^{-3}$
Pasir terpilah baik, <i>glacial outwash</i>	$10^0 - 10^2$	$10^{-3} - 10^{-1}$
Kerikil terpilah baik	$10^1 - 10^3$	$10^{-2} - 10^0$

Gambar 5. Grafik teoritis log-log dan semilog penurunan permukaan air tanah terhadap waktu akibat pemompaan pada akuifer (Modifikasi dari Kruseman dan de Ridder, 2000).

air dalam jumlah yang cukup dengan karakter permeabilitas intrinsik lebih dari 10^{-2} darcy. Lapisan pengeang (*confining layer*) merupakan unit geologi yang memiliki permeabilitas intrinsik kurang dari 10^{-2} darcy.

Lapisan pengeang dapat didefinisikan sebagai batuan yang memiliki magnitudo lebih dari dua hingga tiga orde permeabilitas di bawah akuifer (Weight, 2004). Material dengan magnitudo kurang dari dua orde permeabilitas akuifer merupakan material campuran yang disebut sebagai akuitar, yaitu batuan yang dapat menyimpan air, tetapi dapat melalukannya dalam jumlah terbatas (Todd, 1980). Berdasarkan hal tersebut, lapisan pengeang memiliki nilai permeabilitas intrinsik kurang dari 10^{-4} darcy, sedangkan akuitar memiliki nilai antara 10^{-4} hingga 10^{-2} darcy.

Untuk mengetahui karakteristik hidrolika lapisan batuan, hal yang terpenting adalah dengan melakukan analisis data uji pemompaan, yaitu penurunan permukaan air tanah terhadap waktu pemompaan. Freeze dan Cherry (1979), Todd (1980), serta Kruseman dan de Ridder (2000) membagi akuifer menjadi tiga jenis, yaitu akuifer tidak tertekan (bebas), akuifer tertekan, dan akuifer semitertekan (bocor). Kruseman dan de Ridder (2000) menyebutkan bahwa dinamika penurunan permukaan air tanah terhadap waktu

pemompaan pada ketiga jenis akuifer tersebut secara teoretis memiliki karakter yang berbeda seperti digambarkan pada Gambar 5. Gambar 5A merupakan kondisi ideal akuifer tertekan dengan asumsi akuifer bersifat homogen dan isotropis, pemompaan konstan, sumur menembus seluruh akuifer dengan diameter kecil. Pada Gambar 5A' yang merupakan *semilog plot* antara penurunan permukaan air tanah terhadap waktu menunjukkan bahwa pada awal pemompaan bersifat tidak linier, tetapi pada akhir pemompaan bersifat linier.

Gambar 5B dan 5B' menunjukkan karakter penurunan permukaan air tanah terhadap waktu pada akuifer tidak tertekan, homogen, isotropis, penyebaran lateral tidak terbatas, dengan *delayed yield*. Pada waktu awal pemompaan, kurva *log-log plot* (Gambar 5-B) mengikuti pola akuifer tertekan pada Gambar 5A. Selanjutnya, pada pertengahan waktu pemompaan menunjukkan segmen yang datar. Hal tersebut merupakan refleksi imbuhan akuifer bagian atas, sehingga penurunan permukaan air tanah menjadi stabil. Pada saat akhir pemompaan, kurva mengikuti pola pada Gambar 5A lagi. Semilog plot memiliki karakteristik dua *straight-line* yang bersifat paralel pada saat awal dan akhir pemompaan.

Gambar 5C dan 5C' merupakan karakter penurunan permukaan air tanah terhadap waktu

pada akuifer semitertekan yang menunjukkan ada dua karakter grafik. Pada awal pemompaan, kurva mengikuti pola pada Gambar 5A dan 5A'. Pada saat pertengahan waktu pemompaan, terdapat suplai air dari akuitar (bocoran) yang masuk ke akuifer. Pada saat akhir pemompaan, terdapat aliran air (bocoran) melalui akuitar, dan mengalir melalui sumur sampai pada kondisi setimbang.

Karakteristik akuifer berupa konduktivitas hidrolika (K) dan transmisivitas (T) batuan dapat dihitung dengan menggunakan uji pemompaan *single well test*. *Single well test* merupakan uji pemompaan dengan tidak menggunakan pisometer atau sumur observasi (Kruseman dan de Ridder, 2000). Salah satu metode analisis uji pemompaan *single well test* pada akuifer tertekan dan semitertekan menggunakan metode *Jacob's straight-line* (Kruseman dan de Ridder, 2000 serta Halford dan Kuniansky, 2002). Adapun persyaratan metode ini adalah sebagai berikut ;

$$\frac{25r_c^2}{T} < t \quad \dots\dots\dots 1)$$

Metode *Jacob's straight-line* diturunkan berdasarkan rumus Theis (Freeze dan Cherry, 1979; Todd, 1980; Domenico dan Schwartz, 1990; Kruseman dan de Ridder, 2000; Fetter, 2001; serta Schwartz dan Zang, 2002);

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(\mu) = \frac{Q}{4\pi T} (-0,5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2.2!} + \frac{u^3}{3.3!} - \dots) \quad \dots\dots\dots 2)$$

Seiring bertambahnya waktu pemompaan dan semakin dekatnya sumur observasi dari sumur uji, maka nilai $\ln u$ dapat diabaikan. Bentuk linier dari persamaan di atas adalah:

$$s = \left[\frac{2.3Q}{4\pi T} \log \frac{2.25 T}{r^2 S} \right] + \left[\frac{2.3Q}{4\pi T} \right] \log t \quad \dots\dots 3)$$

Pada pengeplotan s terhadap $\log t$ merupakan garis lurus (linier). Perpotongan garis tersebut terhadap sumbu t adalah $s = 0$ dan $t = t_0$, maka:

$$\frac{2.25 T}{r^2 S} t_0 = 1 \quad \dots\dots\dots 4)$$

Gradien garis lurus (meningkatnya per siklus $\log$) adalah;

$$\Delta s = \frac{2.30 Q}{4\pi T} \quad \dots\dots\dots 5)$$

Nilai transmisivitas akuifer adalah T , dengan demikian dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$T = \frac{2.30 Q}{4\pi \Delta s} \quad \dots\dots\dots 6)$$

Nilai konduktivitas hidrolika dihitung dengan membagi besaran nilai transmisivitas dengan ketebalan lapisan akuifer (Freeze dan Cherry, 1979; Todd, 1980; Domenico dan Schwartz, 1990; Fetter, 2001; Weight, 2004; dan Hiscock, 2005).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Hidrolika Lapisan Batuan

Untuk mengetahui karakteristik hidrolika lapisan batuan di daerah penelitian, telah dilakukan analisis terhadap enam data uji pemompaan sumur bor yang ada. Sumur bor tersebut mengambil air tanah pada kedalaman bervariasi dari 39 hingga 141 mbmt dengan ketebalan saringan rata-rata 21 m. Hasil *scatter plot* antara penurunan permukaan air tanah (skala linier) terhadap waktu pemompaan (skala logaritma) pada enam sumur bor di daerah

penelitian dapat dilihat pada Gambar 6. Gambar 6 memperlihatkan bahwa terdapat dua karakter hidrolika permukaan air tanah terhadap waktu pemompaan, yaitu karakter akuifer semitertekan dan karakter akuifer tertekan. Karakter akuifer semitertekan ditunjukkan oleh sumur bor SB-1, SB-2, dan SB-5, sedangkan karakter akuifer tertekan ditunjukkan oleh sumur bor SB-3, SB-4, dan SB-6. Berdasarkan hal tersebut, karakter hidrolika batuan di daerah penelitian bersifat semitertekan hingga tertekan.

Grafik semilog penurunan permukaan air tanah terhadap waktu pada akuifer semitertekan memiliki dua karakter, yaitu kurva linier pada awal pemompaan dan kurva mendatar pada akhir pemompaan. Menurut Domenico dan Schwartz (1990), kurva linier pada awal pemompaan

Gambar 6. Scatter plot penurunan permukaan air tanah terhadap waktu pemompaan sumur bor di daerah penelitian.

menunjukkan hidrolika air yang berasal dari akuifer yang dipompa, kemudian kurva mendatar pada akhir pemompaan menunjukkan adanya pengaruh bocoran lapisan akuitar. Berdasarkan hal tersebut, sistem akuifer semitertekan memungkinkan adanya transfer dari akuifer bebas di atasnya menuju akuifer semitertekan melalui lapisan semikedap air (akuitar).

Karakteristik akuifer semitertekan hingga tertekan tersebut juga menunjukkan permukaan air tanah (pisometrik) yang berada di atas lapisan batuan yang diambil air tanahnya. Permukaan air tanah pada enam sumur bor yang diuji berada pada level 1,80 hingga 23,16 mbmt dengan rata-rata 10,11 mbmt, sedangkan posisi saringan bagian atas berada pada 36 hingga 82 mbmt (Tabel 3). Hal

tersebut menunjukkan adanya *preassure head* atau naiknya permukaan air tanah (pisometrik) akibat adanya tekanan yang diterima oleh akuifer yang diapit oleh lapisan batuan kedap air.

Berdasarkan jenis akuifer yang bersifat semitertekan hingga tertekan, perhitungan karakteristik akuifer berupa transmisivitas dari data uji pemompaan pada *single well* dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Jacob Straight Line* (Kruseman dan de Rider, 2000). Analisis karakteristik hidrolika dari enam data uji pemompaan dengan menggunakan metode tersebut dapat dilihat pada Gambar 7, sedangkan hasil analisis berupa nilai kapasitas jenis (S_c atau $\Delta s/Q$), konduktivitas hidrolika (K), dan transmisivitas akuifer (T) dapat dilihat pada Tabel 3. Analisis uji pemompaan menunjukkan

Tabel 3. Hasil Analisis Uji Pemompaan Sumur Bor Daerah Penelitian

Lokasi	SB-1	SB-2	SB-3	SB-4	SB-5	SB-6	Rata-rata
Permukaan air tanah (mbmt)	1,80	5,70	16,50	6,280	6,80	23,16	10,11
Kedalaman Saringan (mbmt)	39-120	39-111	36-123	82-141	68-120	75-102	
Ketebalan Saringan (m)	21	21	21	24	21	21	
Kapasitas jenis (L/det/m)	0.123	0.107	0.028	0.023	0.134	0.04	0.060
Konduktivitas Hidrolika (m/hari)	0.043	0.04	0.01	0.019	0.079	0.043	0.032
Transmisivitas (m ² /hari)	3.347	2.787	0.91	1.115	4.088	1.208	1.898

Gambar 7. Analisis data uji pemompaan menggunakan metode “Jacob straight-line” di daerah penelitian.

bahwa kapasitas jenis sumur bor berkisar antara 0,023 hingga 0,076 l/det./m dengan rata-rata geometrik 0,060 l/det./m. Konduktivitas hidrolika berkisar antara 0,010 hingga 0,079 m/hari dengan rata-rata geometrik 0,032 m/hari. Transmisivitas akuifer berkisar antara 0,910 hingga 4,088 m²/hari dengan rata-rata geometrik 1,898 m²/hari.

Apabila nilai konduktivitas hidrolika hasil analisis

uji pemompaan di atas dikonversikan ke dalam satuan permeabilitas intrinsik dengan satuan darcy, lapisan batuan pembawa air di daerah penelitian berkisar antara $1,16 \times 10^{-2}$ hingga $9,14 \times 10^{-2}$ darcy dengan rata-rata geometrik $3,72 \times 10^{-2}$ darcy. Hal tersebut menunjukkan bahwa batuan pembawa air memiliki karakter hidrolika berupa lanau, lanau pasiran, pasir lempungan (Fetter, 2001). Batuan

Tabel 4. Potensi Air Tanah Berdasarkan Nilai Transmisivitas dan Penggunaannya
(U.S. Dept. of Interior, 1977)

Transmisivitas (m ² /hari)	Potensi Air Tanah	
	Domestik	Irigasi
< 1	Jelek	Sangat jelek
1 – 8	Sedang	Sangat jelek
8 – 50	Baik	Sangat jelek
50 – 300	Sangat baik	Jelek
300 – 1000	Sangat baik	Sedang
1000 – 10.000	Sangat baik	Baik
> 10.000	Sangat baik	Sangat baik

tersebut secara hidrolika merupakan lapisan akuifer karena memiliki permeabilitas intrinsik $> 10^{-2}$ darcy. Namun, dekat dengan karakter akuitar, yaitu antara 10^{-4} hingga 10^{-2} darcy (Fetter, 2001 dan Weight, 2004). Lapisan tersebut kemungkinan berasal dari perselingan batu pasir, baik dari Formasi Halang, Formasi Kumbang, maupun Formasi Tapak.

Theis (1963) dalam Fetter (2001) menyatakan bahwa hubungan antara nilai transmisivitas akuifer dengan kapasitas jenis sumur bor secara teoretis diturunkan dari persamaan air tanah, baik dalam kondisi aliran tetap (*steady-state*) maupun tidak tetap (*transient*). Menurut Thomasson dr. (1960) dalam Fetter (2001), hubungan antara kedua parameter tersebut bersifat linier dengan persamaan;

$$T = \left(\frac{Q}{\Delta s}\right) \frac{1}{2\pi} \ln \frac{R}{r} \quad \dots\dots\dots 7)$$

$$T = C \left(\frac{Q}{\Delta s}\right) \quad \dots\dots\dots 8)$$

Hubungan antara nilai transmisivitas akuifer dengan kapasitas jenis sumur bor dapat dilihat pada *scatter plot* antara kedua parameter tersebut (Gambar-8). Hubungan kedua parameter tersebut bersifat linier dan memiliki tingkat korelasi yang kuat ($R^2 = 0,969$) dengan persamaan $T = 26,02 \Delta S/Q + 0,269$ (Gambar-8). Persamaan tersebut dapat digunakan untuk melakukan estimasi nilai transmisivitas akuifer berdasarkan data debit jenis sumur bor hasil pemompaan, sehingga kuantitas air tanah dapat diketahui secara lebih cepat.

Gambar 8. Hubungan linear antara nilai kapasitas jenis dengan transmisivitas lapisan batuan daerah penelitian.

Kuantitas Air Tanah

Karakteristik hidrolika batuan yang menggambarkan gabungan antara konduktivitas hidrolika dengan ketebalan lapisan batuan adalah transmisivitas (T). Transmisivitas adalah kemampuan akuifer untuk meneruskan air melalui suatu bidang vertikal setebal akuifer dengan lebar satu satuan panjang dan satu unit landaian hidrolika (Todd, 1980). Klasifikasi kuantitas air tanah berdasarkan nilai transmisivitas akuifer dilakukan berdasarkan kriteria kebutuhan air tanah untuk keperluan domestik dan irigasi (U.S. Dept. of Interior, 1977) seperti dilihat pada Tabel 4.

Analisis uji pemompaan menunjukkan bahwa transmisivitas berkisar antara 0,910 hingga 4,088 m²/hari dengan rata-rata geometrik 1,898 m²/hari. Hal tersebut menunjukkan bahwa air tanah

pada lapisan batuan di daerah penelitian memiliki potensi jelek hingga sedang dengan rata-rata sedang untuk kebutuhan domestik, dan potensi sangat jelek untuk kebutuhan irigasi. Secara kuantitas, air tanah dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan domestik dengan jumlah relatif terbatas dan tidak bisa dimanfaatkan untuk keperluan irigasi (pertanian). Berdasarkan nilai kapasitas jenis seperti telah dijelaskan di atas, pemompaan dengan rata-rata penurunan permukaan air tanah sekitar 30 m dapat menghasilkan debit sekitar 1 hingga 2 l/det. Dengan asumsi kebutuhan air bersih masyarakat pedesaan sekitar 60 l/det/orang (SNI, tahun 2002), dalam satu sumur bor dapat memenuhi sekitar 1.400 hingga 2.800 jiwa.

Kisaran debit yang dihasilkan di atas sebenarnya masih dapat ditingkatkan lagi dengan cara menempatkan sumur bor pada lokasi yang tepat melalui analisis struktur geologi. Parizek (1967) dalam Fetter (2001) menyebutkan bahwa struktur geologi, seperti kekar dan sesar, sangat berperan dalam mengontrol berkembangnya konduktivitas hidrolika suatu daerah 10 hingga 1.000 kali dari lokasi yang tidak berkembang struktur geologinya. Struktur geologi tersebut dapat dikenali dari pola kelurusan morfologi, yaitu fenomena garis linear pada suatu obyek permukaan bumi yang diinterpretasi melalui teknologi penginderaan jauh atau foto udara (Singhal dan Gupta, 1999; Sabhan drr., 2005). Hal ini tentunya dapat dijadikan sebagai masukan untuk kegiatan pengeboran air tanah selanjutnya, terutama pada batuan yang bersifat padu, salah satunya adalah batuan sedimen berumur Tersier.

KESIMPULAN

Sebagian wilayah Kabupaten Cilacap dan Banyumas memiliki tipologi akuifer batuan sedimen terlipat yang tersusun atas batuan sedimen berumur Tersier dari Formasi Halang, Kumbang, dan Tapak. Batuan tersebut secara umum terdiri atas perselingan batu pasir, batu lempung, breksi, dan lava andesit. Karakter hidrolika permukaan air tanah terhadap waktu pemompaan menunjukkan karakter akuifer semitersekan hingga tertekan. Batuan tersebut memiliki karakteristik konduktivitas hidrolika antara 0,010 hingga 0,079 m/hari, permeabilitas intrinsik antara $1,16 \times 10^{-2}$ hingga $9,14 \times 10^{-2}$ darcy, dan transmisivitas akuifer antara 0,910 hingga 4,088 m²/hari. Kapasitas jenis

sumur bor memiliki nilai antara 0,023 hingga 0,076 lldet./m. Lapisan batuan tersebut berdasarkan nilai konduktivitas hidrolika dan permeabilitas intrinsik menunjukkan karakter relatif sebagai akuifer dengan ukuran butir hampir sama dengan lanau, lanau pasiran, dan pasir lempungan, sedangkan nilai transmisivitas menunjukkan potensi jelek hingga sedang untuk kebutuhan domestik, dan potensi sangat jelek untuk kebutuhan irigasi. Berdasarkan nilai kapasitas jenis, pemompaan dengan debit 1 hingga 2 l/det. masih bisa diharapkan. Peningkatan debit sumur bor untuk kegiatan selanjutnya dapat dilakukan dengan cara menempatkan sumur bor melalui analisis struktur geologi, salah satunya adalah dengan melakukan analisis kelurusan morfologi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan terbitnya makalah ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Kepala Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan yang telah memfasilitasi kegiatan ini. Ucapan terima kasih disampaikan pula kepada Dewan Redaksi yang telah menerbitkan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2002. Standar Nasional Indonesia 19-6728.1-2002, Penyusunan Neraca Sumber Daya Bagian 1: Sumber Daya Air Spasial. Badan Standardisasi Nasional.
- Asikin, S., Handoyo, A., Prastistho, B., dan Gafoer, S., 1992. *Peta Geologi Regional Lembar Banyumas*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Bemmelen, Van, 1949. *The Geology of Indonesia, Part I General Geology*. The Hague, Netherland.
- Djuri, M., Samodra, H., Amin, T.C., dan Gafoer, S., 1996. *Peta Geologi Regional Lembar Purwokerto-Tegal*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Domenico, P. A. dan Schwartz, F.W., 1990. *Physical and Chemical Hydrogeology*. John Wiley & Sons, New York.
- Fetter, C. W., 2001. *Applied Hydrogeology, Fourth Edition*. Prentice Hall, New Jersey, 598 h.
- Freeze, R. A. dan Cherry, J. A., 1979. *Groundwater*. Prentice Hall, New Jersey.

- Halford, K. J. dan Kuniansky, E.L., 2002. *Documentation of Spreadsheets for the Analysis of Aquifer-Test and Slug-Test Data*. U. S. Geological Survey, Nevada.
- Hiscock, K. M., 2005. *Hydrogeology, Principles and Practice*. Blackwell Publishing, USA.
- Ismiralda, D. A., 2013. Geologi dan Kajian Endapan Turbidit Formasi Halang Daerah Bantarkawung, Kabupaten Brebes, Jawa Tengah. Skripsi tidak dipublikasikan, Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Pakuan Bogor.
- Kastowo, 1975. *Peta Geolgi Lembar Majenang*, Skala 1:100.000. Direktorat Geologi, Bandung.
- Kruseman, G.P. dan de Ridder, N. A., 2000. *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data, Second Edition (Completely Revised)*. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, Netherlands.
- Mandel, S. dan Shiftan, Z., 1981. *Groundwater Resources. Investigation and Development*, Academic Press, New York.
- Pambudi, B. S., 2013. Geologi dan Studi Fasies Air Tanah Daerah Dermaji dan Sekitarnya, Kecamatan Lumbir, Kabupaten Banyumas. Skripsi tidak dipublikasikan, Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Pakuan Bogor.
- Pulunggono, A. dan Martodjojo, S., 1994. Perubahan Tektonik Paleogene – Neogene Merupakan Peristiwa Tektonik Terpenting di Jawa. *Proceeding Geologi dan Geotektonik Pulau Jawa*, Percetakan NAFIRI, Yogyakarta.
- Puradimaja, D.J., 1993. *Penyusunan Tipologi Paket Penelitian Sumber Daya Air*. LAPI ITB – Departemen Transmigrasi, Bandung.
- Schwartz, F. W. dan Zhang, H., 2002. *Fundamentals of Groundwater*. John Wiley & Sons, New York.
- Shaban, A., Khawlie M., dan Abdallah, C., 2005. Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zones: the case of Occidental Lebanon. *Springer Verlag: Hydrogeology Journal* (2006) 14: 433 – 443.
- Simandjuntak, T.O. dan Surono, 1992. *Peta Geologi Lembar Pangandaran*, Skala 1:100.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung
- Singhal, B. B. S., dan Gupta, R. P., 1999. *Applied Hydrogeology of Fractured Rocks*. Kluwer Academic Publisher, Netherlands.
- Suheli, A., 2013. Geologi Daerah Negarajati, Kecamatan Cimanggu, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah. Skripsi tidak dipublikasikan, Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Pakuan Bogor.
- Todd, D. K., 1980. *Groundwater Hydrology*, 2nd ed. John Wiley and Sons, New York.
- U.S. Departement of Interior, 1977. *Groundwater Manual, First Edition*. United States Government Printing Office, Washington.
- Weight, W. D., 2004. *Manual of Applied Field Hydrogeology*. McGraw-Hill.