

Evaluasi Nilai Parameter Akuifer Tidak Tertekan Berdasarkan Data Uji Pemompaan dan Analisis Ukuran Butir

The Evaluation of Unconfined Aquifer Parameter Using Pumping Test and Grain Size Analysis Data

Agus M. Ramdhan^{1,2}, Arifin¹, dan Rusmawan Suwarman^{2,3}

¹Kelompok Keahlian Geologi Terapan, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha No. 10, Bandung, Indonesia

²Prodi Teknik Airtanah, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha No. 10, Bandung, Indonesia

³Kelompok Keahlian Sains Atmosfer, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha No. 10, Bandung, Indonesia

e-mail: agusmr@gl.itb.ac.id

naskah diterima 2 Mei 2021, selesai direvisi 1 Agustus 2021, dan disetujui 5 Agustus 2021

ABSTRAK

Uji pemompaan merupakan metode yang dianggap paling baik dalam menentukan nilai parameter akuifer. Namun, ada kemungkinan nilai parameter akuifer yang dihitung menggunakan data uji pemompaan tersebut tidak merepresentasikan nilai yang sebenarnya. Sebagai sebuah studi kasus, data uji pemompaan akuifer tidak tertekan dari dua sumur observasi (1 dan 2) pada salah satu daerah di SE Asia dianalisis menggunakan metode pencocokan kurva Neuman dengan dua skenario. Pada skenario 1, nilai parameter akuifer dihitung dengan mengasumsikan sumur pemompaan dan observasi menembus seluruh ketebalan akuifer, sedangkan pada skenario 2 nilai parameter akuifer dihitung berdasarkan kondisi sumur pemompaan dan observasi yang sebenarnya, yaitu menembus hanya sebagian ketebalan akuifer. Selain itu, nilai konduktivitas hidraulik akuifer juga diestimasi berdasarkan analisis ukuran butir. Hasilnya menunjukkan bahwa asumsi pada skenario 1 akan menyebabkan nilai konduktivitas hidraulik dalam arah vertikal menjadi lebih besar dari yang seharusnya. Nilai *specific yield* yang mendekati nilai referensi, berdasarkan litologi pasir kerikilan yang dominan pada daerah studi, hanya diperoleh menggunakan data uji pemompaan dari sumur observasi 1 pada kedua skenario. Adapun hasil estimasi nilai konduktivitas hidraulik berdasarkan analisis ukuran butir memperlihatkan nilai konduktivitas hidraulik yang lebih besar dibandingkan nilai konduktivitas hidraulik yang dihitung berdasarkan data uji pemompaan.

Kata kunci: akuifer tidak tertekan, analisis ukuran butir, parameter akuifer, uji pemompaan

ABSTRACT

The pumping test is considered as the best method in determining the values of the aquifer parameter. However, there is a possibility that the values calculated using the pumping test data do not represent the actual aquifer parameter values. As a case study, pumping test data of unconfined aquifer from two observation wells (1 and 2) in an area of SE Asia were analyzed using the Neuman 'curve matching method with two scenarios. In scenario 1, the aquifer parameter values were calculated by assuming the pumping and observation wells penetrate the entire thickness of the aquifer (fully penetrating well), while in scenario 2 the values were calculated based on the actual conditions of the pumping and observation wells, i.e., penetrating the aquifer thickness partially (partially penetrating well). In addition, the hydraulic conductivity of the aquifer was also estimated based on grain size analysis. The results show that the assumptions in scenario 1 will cause the vertical hydraulic conductivity value to be greater than it should be. The specific yield value close to the reference value, based on the dominant lithology of gravelly sand in the study area, was only obtained using the pumping test data from the observation well 1 in both scenarios. The results of the

hydraulic conductivity value estimation based on grain size analysis show that the hydraulic conductivity value is greater than the hydraulic conductivity value calculated based on the pumping test data.

Keywords: *unconfined aquifer, grain size analysis, aquifer parameter, pumping test*

PENDAHULUAN

Uji pemompaan merupakan salah satu metode untuk menentukan nilai parameter akuifer, baik akuifer tertekan ataupun tidak tertekan. Uji tersebut umumnya dianggap sebagai metode terbaik dalam menentukan nilai dari parameter akuifer karena dilaksanakan secara *in situ* di lapangan dengan radius pengaruh tertentu, sehingga dapat merepresentasikan karakteristik akuifer yang sebenarnya. Meskipun demikian, nilai parameter akuifer yang dihitung berdasarkan data hasil uji pemompaan mungkin saja tidak merepresentasikan nilai parameter akuifer sebenarnya.

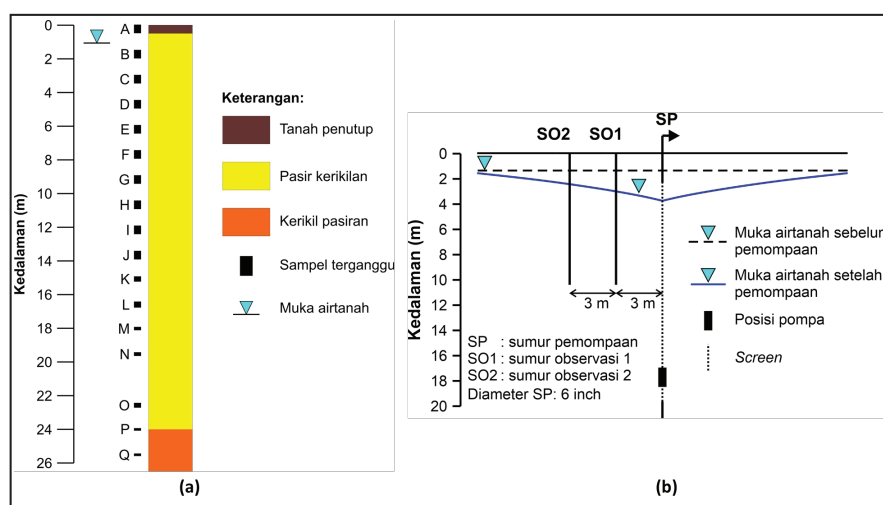
Studi ini dilakukan untuk mengevaluasi apakah hasil perhitungan nilai parameter akuifer tidak tertekan merepresentasikan karakteristik akuifer yang sebenarnya, dengan contoh kasus menggunakan data uji pemompaan pada salah satu daerah di SE Asia. Gambar 1a memperlihatkan contoh litologi di daerah tersebut. Berdasarkan gambar tersebut, akuifer di daerah studi dapat diinterpretasikan sebagai akuifer tidak tertekan dengan litologi yang terdiri atas tanah penutup, pasir kerikilan, pasir kerikilan, dan kerikil pasiran. Muka air-

tanah pada akuifer ini berada pada kedalaman yang dangkal, yaitu 1 meter di bawah muka tanah. Selain data uji pemompaan, ada juga 17 data hasil analisis ukuran butir dari sampel terganggu (kode A hingga Q pada Gambar 1a), yang diambil selama proses pengeboran. Data ukuran butir tersebut akan digunakan untuk memperkirakan nilai konduktivitas hidraulik dari akuifer tidak tertekan di daerah studi.

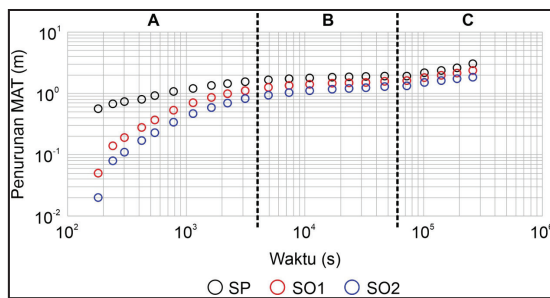
Penurunan muka air tanah pada sumur pemompaan dan observasi tersebut diukur selama 72 jam menggunakan data *logger*. Skema pemompaan dan perubahan kedalaman muka airtanah akibat pemompaan tersebut dapat dilihat pada Gambar 1b. Adapun grafik dan data penurunan muka airtanah terhadap waktu pada sumur pemompaan dan observasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 2 dan Tabel 1.

METODE PENELITIAN

Selain berdasarkan kondisi geologi, keberadaan akuifer tidak tertekan dapat diidentifikasi menggunakan grafik perbandingan penurunan muka airtanah akibat pemompaan terhadap waktu.



Gambar 1. (a) Contoh litologi yang menunjukkan akuifer tidak tertekan di daerah studi; (b) skema pemompaan dan perubahan muka airtanah akibat pemompaan di daerah studi.



Gambar 2. Grafik penurunan muka airtanah (MAT) pada sumur pemompaan (kode SP) dan sumur observasi (kode SO) akibat pemompaan.

Berdasarkan Neuman (1975) serta Kruseman dan de Ridder (2000), ada tiga respons penurunan muka airtanah akibat pemompaan pada akuifer tidak tertekan (zona A, B, dan C pada Gambar 2 dan 3). Zona A merupakan respons awal penurunan muka airtanah pada akuifer tidak tertekan yang akan mengikuti kurva Theis selama beberapa menit di awal pemompaan (*early-time drawdown*). Pada zona B, setelah beberapa menit hingga beberapa jam pemompaan (*intermediate time-drawdown*), respons penurunan muka airtanah terhadap waktu akan menyimpang dari kurva Theis akibat efek dari penirisan air yang terjadi pada akuifer tidak tertekan. Kemudian, pada akhir pemompaan (*late time-drawdown*), respons penurunan muka airtanah terhadap waktu akan kembali mengikuti kurva Theis (zona C). Untuk mendapatkan

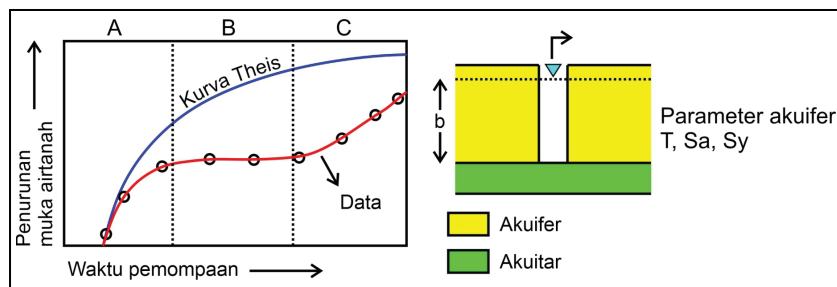
respons tersebut, mungkin dibutuhkan durasi uji pemompaan yang lama, misalnya selama tiga hari (Kruseman dan de Ridder, 2000).

Pada studi ini, perhitungan nilai parameter akuifer tidak tertekan dilakukan berdasarkan metode pencocokan kurva Neuman (1975) dengan dua skenario. Skenario pertama sumur pemompaan dan observasi menembus seluruh ketebalan akuifer tidak tertekan (*fully penetrating well*), sedangkan skenario kedua mengikuti kondisi yang sebenarnya, yaitu sumur pemompaan dan observasi hanya menembus sebagian ketebalan akuifer tidak tertekan (*partially penetrating well*). Kurva Neuman yang digunakan pada kedua skenario tersebut diperoleh menggunakan perangkat lunak WTAQ. WTAQ adalah perangkat lunak gratis yang dikembangkan oleh USGS (Barlow dan Moench, 1999) untuk mengestimasi nilai parameter hidraulik dari akuifer tertekan dan akuifer tidak tertekan, baik untuk *fully penetrating well* ataupun *partially penetrating well*.

Beberapa asumsi yang digunakan dalam metode pencocokan kurva untuk akuifer tidak tertekan menggunakan WTAQ (Barlow dan Moench, 1999) antara lain: akuifer tidak tertekan yang dipompa memiliki sebaran lateral yang tidak terbatas, bersifat homogen dan memiliki ketebalan yang seragam, sebelum pemompaan muka airtanah datar atau horizontal, dan akuifer tidak

Tabel 1. Data penurunan muka airtanah (MAT) pada sumur pemompaan (kode SP) dan sumur observasi (kode SO) akibat pemompaan

Waktu (s)	Penurunan MAT (m)			Waktu (s)	Penurunan MAT (m)		
	SP	SO1	SO2		SP	SO1	SO2
180	0,56	0,05	0,02	7320	1,75	1,34	1,03
240	0,68	0,14	0,08	10920	1,80	1,40	1,10
300	0,74	0,19	0,11	16920	1,85	1,46	1,17
420	0,80	0,28	0,17	23520	1,87	1,49	1,21
540	0,92	0,37	0,23	32520	1,89	1,51	1,24
780	1,07	0,53	0,34	46920	1,92	1,58	1,30
1140	1,21	0,71	0,47	72120	1,93	1,61	1,33
1620	1,34	0,86	0,59	100920	2,17	1,82	1,50
2220	1,45	0,99	0,70	140520	2,37	1,98	1,63
3120	1,56	1,11	0,82	190920	2,61	2,15	1,75
4920	1,67	1,25	0,94	259140	3,06	2,38	1,83



Gambar 3. Identifikasi keberadaan akuifer tidak tertekan berdasarkan grafik perbandingan penurunan muka airtanah terhadap waktu pemompaan (kiri) dan berdasarkan kondisi geologi (kanan), modifikasi dari Freeze dan Cherry (1979).

tertekan tersebut dipompa dengan debit yang konstan.

Metode pencocokan kurva pada studi ini dilakukan dengan cara mencocokkan kurva data uji pemompaan (selanjutnya disebut kurva lapangan) pada zona C (Gambar 2) dari sumur observasi dengan kurva penurunan muka airtanah (kurva Neuman) yang dihasilkan dari WTAQ. Data dari zona C (*late-time drawdown*) digunakan untuk pencocokan karena kapasitas penyimpanan sumur tidak mempengaruhi penurunan muka airtanah pada zona C secara signifikan dibandingkan dengan zona A (*early-time drawdown*) (Barlow dan Moench, 1999). Dari hasil pencocokan tersebut, dipilih satu titik pencocokan (*match point*) secara bebas. Kemudian, nilai parameter akuifer tidak tertekan (transmisivitas, konduktivitas hidraulik, dan *specific yield*) untuk kedua skenario dalam studi ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut:

$$T = \frac{Q}{4\pi} \left(\frac{h_D^*}{(h_i - h)^*} \right) \dots\dots\dots (1)$$

$$K_r = \frac{T}{b} \dots\dots\dots (2)$$

$$K_z = K_D \times K_r \dots\dots\dots (3)$$

$$Sy = T \frac{(t/r^2)^*}{(t_{DY}/r_D^2)^*} \dots\dots\dots (4)$$

$$\hat{a} = \frac{K_z}{K_r} \left(\frac{r}{b} \right)^2 \dots\dots\dots (5)$$

Notasi T adalah transmisivitas, Q adalah debit pemompaan, h_D adalah nilai penurunan muka

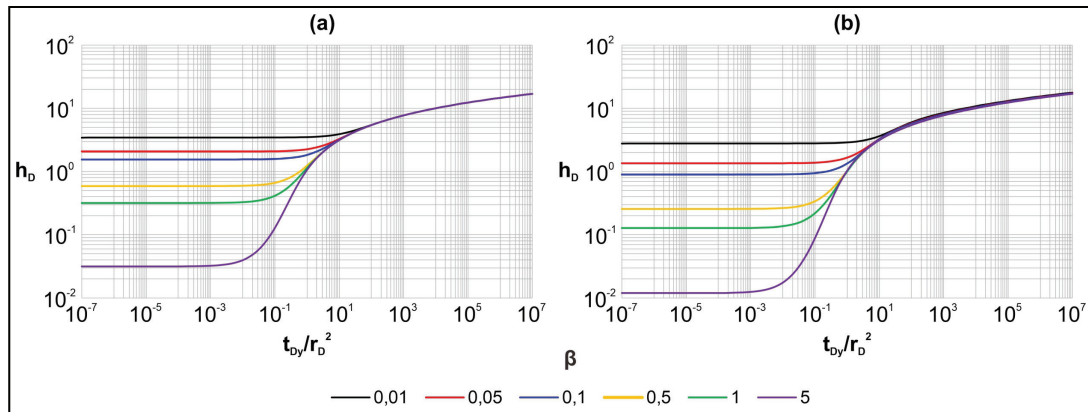
airtanah yang dihasilkan WTAQ pada kurva teoritis, $(h_i - h)$ adalah nilai penurunan muka airtanah pada kurva lapangan, K_r adalah nilai konduktivitas hidraulik dalam arah horizontal, b adalah ketebalan awal akuifer tidak tertekan yang jenuh air, r adalah jarak sumur observasi terhadap sumur pemompaan yang dihitung dari jari-jari sumur pemompaan, t adalah waktu pemompaan, K_z adalah konduktivitas hidraulik dalam arah vertikal, K_D adalah rasio antara K_z dan K_r , S_y adalah *specific yield*, (t_{DY}/r_D^2) adalah perbandingan antara waktu (t_{DY}) dan kuadrat jarak radial antara sumur observasi dan sumur pemompaan (r_D^2) pada kurva teoritis, di mana r_D dihitung berdasarkan perbandingan antara jarak sumur observasi terhadap jari-jari sumur pemompaan. Adapun tanda * pada persamaan (1) dan (4) menunjukkan nilai pada titik pencocokan. Contoh kurva teoritis untuk analisis nilai parameter akuifer tidak tertekan pada skenario 1 dan 2 dapat dilihat pada Gambar 4.

Berdasarkan analisis ukuran butir, nilai konduktivitas hidraulik (K) akuifer tidak tertekan pada daerah studi diestimasi menggunakan persamaan berikut (Beyer, 1964 dalam Wang drr., 2017):

$$K = C_B \frac{g}{v} \log \left(\frac{500}{C_u} \right) d_{10}^2 \dots\dots\dots (6)$$

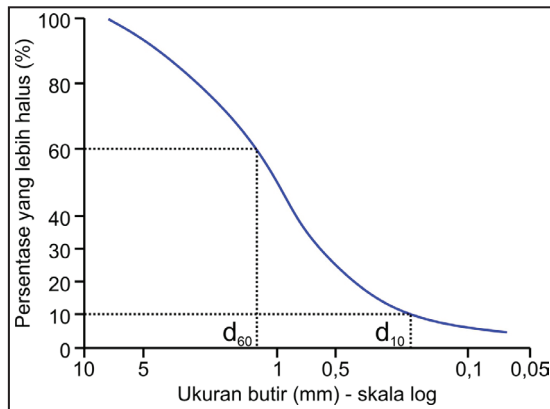
$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \dots\dots\dots (7)$$

Di mana C_B adalah konstanta dengan nilai 6×10^{-4} , d_{60} dan d_{10} adalah nilai ukuran butir pada kurva distribusi ukuran butir yang masing-masing



Gambar 4. (a) Contoh kurva teoritis untuk sumur SO1 pada skenario 1 dan (b) contoh kurva teoritis untuk sumur SO1 pada skenario 2.

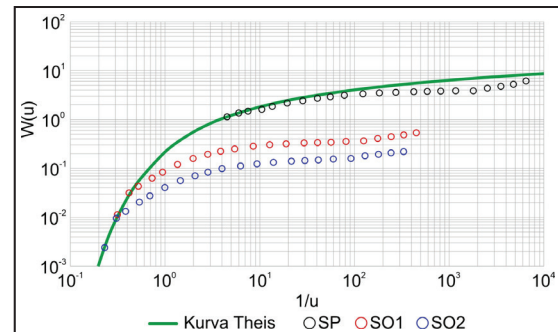
menunjukkan 60% dan 10% ukuran butir yang lebih halus (Gambar 5), g adalah percepatan gravitasi, dan ν adalah viskositas kinematik dari fluida. Persamaan (5) direkomendasikan untuk digunakan dengan syarat $0,06 < d_{10} < 0,6$ dan $C_u < 20$ (Vukovic dan Soro, 1992 dalam Oh drr., 2013). Adapun data untuk analisis ukuran butir pada studi ini dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 5. Penentuan nilai d_{60} dan d_{10} berdasarkan grafik analisis ukuran butir.

HASIL DAN PEMBAHASAN

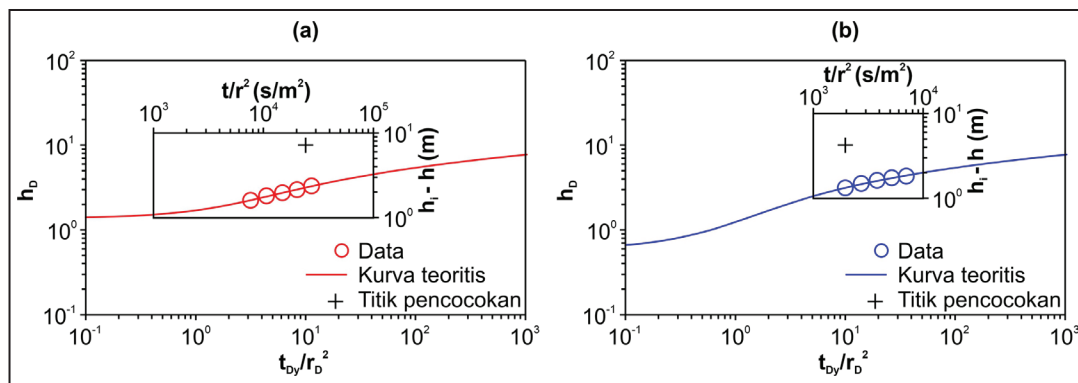
Jika dibandingkan dengan skema pada Gambar 3a, hasil tumpang tindih antara data uji pemompaan dan kurva Theis (Gambar 6, dengan skala vertikal dan horizontal antara kurva Theis and kurva data uji pemompaan yang telah disamakan) mendukung kondisi hidrogeologi di daerah studi (Gambar 1), dengan catatan akuifer di daerah studi adalah akuifer tidak tertekan.



Gambar 6. Tumpang tindih antara data uji pemompaan dan kurva Theis yang mengindikasikan akuifer tidak tertekan di daerah studi.

Debit pemompaan yang digunakan pada sumur pemompaan (SP) adalah sebesar $6 \text{ m}^3/\text{jam}$ atau $1,67 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$. Karena terbatasnya data litologi hasil pengeboran, berdasarkan litologi pada Gambar 1, ketebalan total lapisan akuifer tidak tertekan yang jenuh air yang digunakan dalam perhitungan untuk skenario 1 dan 2 adalah sebesar 25 m. Jika ketebalan akuifer tidak tertekan yang jenuh air di daerah studi lebih dari 25 m, maka dari persamaan (2) dan (3) nilai konduktivitas hidraulik yang dihitung akan menjadi lebih kecil.

Grafik pencocokan untuk skenario 1 ditunjukkan pada Gambar 7. Pada titik pencocokan untuk sumur observasi 1 (Gambar 7a) diperoleh nilai $h_D = t_{Dy}/r_D^2 = 10$, $(h_i - h) = 5,05 \text{ m}$, dan $t/r^2 = 7960,51 \text{ s/m}^2$. Berdasarkan titik pencocokan pada sumur observasi 2 (Gambar 7b), diperoleh nilai $h_D = t_{Dy}/r_D^2 = 10$, $(h_i - h) = 4,22 \text{ m}$, dan $t/r^2 = 1967,77$



Gambar 7. (a) grafik pencocokan data uji pemompaan sumur observasi 1 (SO1) terhadap kurva teoritis pada skenario 1 dan (b) grafik pencocokan data uji pemompaan sumur observasi 2 (SO2) terhadap kurva teoritis pada skenario 1.

s/m^2 . Nilai K_D yang sesuai untuk skenario 1 adalah 8,5. Dengan menggunakan persamaan (1) hingga (4), nilai parameter akuifer tidak tertekan berdasarkan data dari sumur observasi 1 dan 2 pada skenario 1 adalah:

Sumur Observasi 1

$$T = \frac{1,67 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{4\pi} \frac{10}{5,05 \text{ m}} = 2,63 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K_r = \frac{2,63 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}}{25 \text{ m}} = 1,05 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K_z = 8,5 \times 1,05 \times 10^{-5} \text{ m/s} = 8,95 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

$$S_y = 2,63 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} \frac{7960,51 \text{ s/m}^2}{10} = 0,21$$

Sumur Observasi 2

$$T = \frac{1,67 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{4\pi} \frac{10}{4,22 \text{ m}} = 3,14 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K_r = \frac{3,14 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}}{25 \text{ m}} = 1,26 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K_z = 8,5 \times 1,26 \times 10^{-5} \text{ m/s} = 1,07 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$S_y = 3,14 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} \frac{1967,77 \text{ s/m}^2}{10} = 0,06$$

Grafik pencocokan untuk skenario 2 ditunjukkan pada Gambar 8. Pada titik pencocokan

untuk sumur observasi 1 (Gambar 8a) diperoleh nilai $h_D = t_{Dy}/r_D^2 = 10$, $(h_i - h) = 5,02 \text{ m}$, dan $t/r^2 = 7940,36 \text{ s/m}^2$. Berdasarkan titik pencocokan pada sumur observasi 2 (Gambar 8b), diperoleh nilai $h_D = t_{Dy}/r_D^2 = 10$, $(h_i - h) = 3,82 \text{ m}$, dan $t/r^2 = 1545,2 \text{ s/m}^2$. Nilai K_D yang sesuai untuk skenario 2 adalah 3. Dengan menggunakan persamaan (1) hingga (4), nilai parameter akuifer tidak tertekan berdasarkan data dari sumur observasi 1 dan 2 pada skenario 2 adalah:

Sumur Observasi 1

$$T = \frac{1,67 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{4\pi} \frac{10}{5,02 \text{ m}} = 2,64 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K_r = \frac{2,64 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}}{25 \text{ m}} = 1,06 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K_z = 3 \times 1,06 \times 10^{-5} \text{ m/s} = 3,17 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

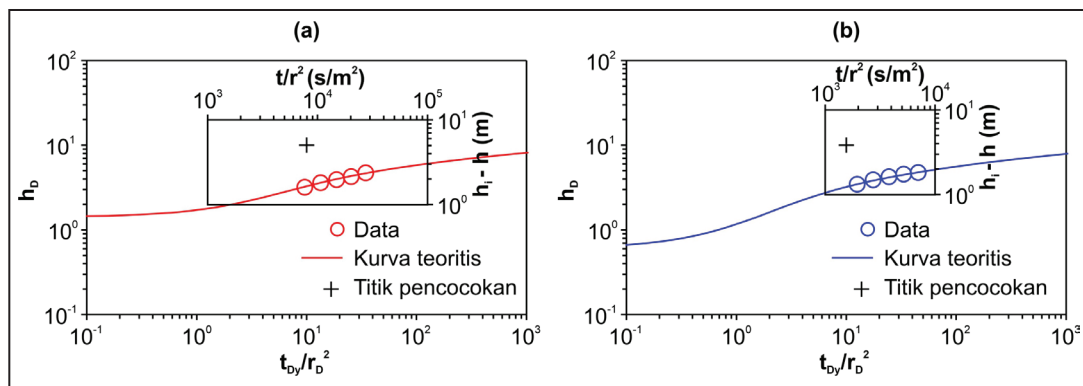
$$S_y = 2,64 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} \frac{7940,36 \text{ s/m}^2}{10} = 0,21$$

Sumur Observasi 2

$$T = \frac{1,67 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{4\pi} \frac{10}{3,82 \text{ m}} = 3,47 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K_r = \frac{3,47 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}}{25 \text{ m}} = 1,39 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K_z = 3 \times 1,39 \times 10^{-5} \text{ m/s} = 4,17 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$



Gambar 8. (a) grafik pencocokan data uji pemompaan sumur observasi 1 (SO1) terhadap kurva teoritis pada skenario 2 dan (b) grafik pencocokan data uji pemompaan sumur observasi 2 (SO2) terhadap kurva teoritis pada skenario 2.

$$S_y = 3,47 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} \frac{1545,2 \text{ s/m}^2}{10} = 0,05$$

Jika dibandingkan, tidak ada perbedaan nilai transmisivitas dan konduktivitas hidraulik dalam arah horizontal yang signifikan antara skenario 1 dan 2, baik berdasarkan data sumur observasi 1 ataupun 2. Namun, ada perbedaan nilai konduktivitas hidraulik dalam arah vertikal yang signifikan antara skenario 1 dan 2, baik berdasarkan data sumur observasi 1 ataupun 2. Hal ini terjadi ketika sumur yang hanya menembus sebagian ketebalan total akuifer diasumsikan sebagai sumur yang menembus seluruh ketebalan total akuifer.

Adapun hasil perhitungan nilai *specific yield* berdasarkan data sumur observasi 1 dan 2, baik pada skenario 1 dan 2, memiliki perbedaan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa nilai *specific yield* yang dihitung pada kedua skenario tersebut mungkin tidak merepresentasikan karakteristik akuifer yang sebenarnya, terutama yang diperoleh berdasarkan data sumur observasi 2 pada kedua skenario tersebut. Hal ini mungkin disebabkan oleh konstruksi sumur observasi yang kurang baik. Berdasarkan Johnson (1967), nilai rata-rata *specific yield* untuk pasir kerikil adalah 0,25. Dengan demikian, hanya nilai *specific yield* yang dihitung berdasarkan data uji pemompaan dari sumur observasi 1 pada skenario 1 dan 2 yang mendekati nilai referensi tersebut.

Barlow dan Moench (1999) menghitung nilai parameter akuifer, termasuk *specific yield*, dengan mencocokkan kurva data uji pemompaan komposit dengan kurva teoritis komposit. Dengan demikian, hanya diperoleh 1 titik pencocokan untuk seluruh data sumur observasi yang tersedia. Namun, jika nilai parameter akuifer dari masing-masing data sumur observasi yang digunakan oleh Barlow dan Moench (1999) dihitung menggunakan metode pencocokan kurva seperti yang digunakan oleh Kruseman dan de Ridder (2000), Neuman (1975), dan juga dalam studi ini, maka akan diperoleh hasil yang hampir sama. Metode yang digunakan oleh Barlow dan Moench (1999) tersebut tidak digunakan dalam studi ini karena kurva data uji pemompaan komposit dan kurva teoritis komposit dari sumur observasi 1 dan 2 tidak dapat dicocokkan dengan baik. Hal ini mungkin disebabkan oleh data penurunan muka airtanah pada sumur observasi yang dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti efek heterogenitas secara lokal (Weeks, 1977). Oleh karena itu, diperlukan data dari sumur observasi tambahan yang dipasang pada jarak yang lebih jauh dan kedalaman yang lebih dalam dibandingkan sumur observasi 1 dan 2. Selain itu, *step drawdown test* yang dilanjutkan dengan *recovery test* juga diperlukan untuk mengevaluasi kualitas sumur observasi yang digunakan.

Hasil estimasi nilai konduktivitas hidraulik berdasarkan analisis ukuran butir dapat dilihat pada Tabel 3. Nilai percepatan gravitasi yang digunakan untuk menghitung nilai konduktivitas

Tabel 3. Rangkuman hasil estimasi nilai konduktivitas hidraulik berdasarkan analisis ukuran butir.

Sampel	Litologi	d_{10} (mm)	d_{60} (mm)	C_u	K ($\times 10^{-4}$ m/s)
A	Tanah penutup	0,20	4,53	22,62	3,69*
B	Pasir kerikilan	0,22	1,34	6,15	6,21
C	Pasir kerikilan	0,16	0,87	5,46	3,45
D	Pasir kerikilan	0,14	1,347	9,60	2,32
E	Pasir kerikilan	0,142	1,348	9,48	2,39
F	Pasir kerikilan	0,20	2,40	11,78	4,64
G	Pasir kerikilan	0,10	1,67	17,36	0,92
H	Pasir kerikilan	0,26	1,78	6,78	8,76
I	Pasir kerikilan	0,24	1,63	6,89	7,17
J	Pasir kerikilan	0,25	3,41	13,89	6,40
K	Pasir kerikilan	0,14	2,11	14,61	2,20
L	Pasir kerikilan	0,26	2,27	8,87	7,82
M	Pasir kerikilan	0,09	1,93	21,14	0,79*
N	Pasir kerikilan	0,20	2,16	10,96	4,39
O	Pasir kerikilan	0,06	1,08	17,08	0,40
P	Pasir kerikilan	0,26	4,63	17,71	6,79
Q	Kerikil pasiran	4,19	5,61	1,34	3098,99*

*tidak memenuhi syarat $0,06 < d_{10} < 0,6$ dan $C_u < 20$

hidraulik tersebut adalah $9,8 \text{ m/s}^2$, sedangkan nilai viskositas kinematik air dengan temperatur $26,7^\circ \text{C}$ (temperatur air rata-rata yang diukur selama pemompaan) adalah $8,59 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$. Berdasarkan Tabel 3, nilai konduktivitas hidraulik untuk pasir kerikilan berkisar antara $4 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ hingga $8,76 \times 10^{-4} \text{ m/s}$.

Nilai konduktivitas hidraulik yang diestimasi dari analisis ukuran butir tersebut lebih besar dibandingkan dengan nilai konduktivitas hidraulik yang dihitung menggunakan data uji pemompaan, baik pada skenario 1 ataupun 2. Hasil studi Cheong drr. (2008) dan Shamsuddin drr. (2019) juga menunjukkan bahwa nilai konduktivitas hidraulik yang diperoleh dari analisis ukuran butir lebih besar dibandingkan dengan nilai konduktivitas hidraulik yang dihitung berdasarkan data uji pemompaan. Meskipun demikian, nilai konduktivitas hidraulik yang diestimasi dari hasil analisis ukuran butir tersebut mungkin tidak merepresentasikan nilai konduktivitas hidraulik akuifer yang sebenarnya. Oleh sebab itu, perlu dilakukan estimasi nilai konduktivitas hidraulik dengan metode lain, misalnya uji piezometer di lapangan atau pengujian sampel tanah tidak terganggu (*undisturbed sample*) di laboratorium menggunakan permeameter.

Nilai konduktivitas hidraulik yang diestimasi dari analisis ukuran butir tersebut lebih besar dibandingkan dengan nilai konduktivitas hidraulik yang dihitung menggunakan data uji pemompaan, baik pada skenario 1 ataupun 2. Hasil studi Cheong drr. (2008) dan Shamsuddin drr. (2019) juga menunjukkan bahwa nilai konduktivitas hidraulik yang diperoleh dari analisis ukuran butir lebih besar dibandingkan dengan nilai konduktivitas hidraulik yang dihitung berdasarkan data uji pemompaan. Meskipun demikian, nilai konduktivitas hidraulik yang diestimasi dari hasil analisis ukuran butir tersebut mungkin tidak merepresentasikan nilai konduktivitas hidraulik akuifer yang sebenarnya. Oleh sebab itu, perlu dilakukan estimasi nilai konduktivitas hidraulik dengan metode lain, misalnya uji piezometer di lapangan atau pengujian sampel tanah tidak terganggu (*undisturbed sample*) di laboratorium menggunakan permeameter.

KESIMPULAN

Nilai konduktivitas hidraulik yang dihitung berdasarkan data uji pemompaan belum tentu merepresentasikan karakteristik akuifer sebenarnya. Hal ini dapat dipengaruhi oleh

metode perhitungan yang digunakan. Jika kurva teoritis untuk sumur yang menembus seluruh ketebalan akuifer digunakan untuk sumur yang hanya menembus sebagian ketebalan akuifer, maka nilai konduktivitas hidraulik dalam arah vertikal menjadi tidak valid. Nilai *specific yield* yang dihitung dari masing-masing data sumur observasi juga tidak sepenuhnya dapat dipercaya, terutama ketika terdapat perbedaan yang signifikan antarhasil perhitungan tersebut. Oleh karena itu, nilai *specific yield* tersebut perlu dievaluasi berdasarkan litologi dan referensi nilai *specific yield* untuk litologi tersebut. Adapun nilai konduktivitas hidraulik yang diestimasi berdasarkan analisis ukuran butir pada studi ini lebih besar dibandingkan nilai konduktivitas hidraulik yang dihitung berdasarkan data uji pemompaan, baik untuk skenario 1 ataupun 2. Namun, nilai konduktivitas hidraulik tersebut juga mungkin tidak merepresentasikan nilai konduktivitas hidraulik akuifer yang sebenarnya. Nilai konduktivitas hidraulik akuifer yang diperoleh berdasarkan data uji pemompaan dan analisis ukuran butir perlu dibandingkan dengan nilai konduktivitas hidraulik yang dihitung menggunakan metode lain, seperti uji piezometer di lapangan atau uji sampel tanah tidak terganggu menggunakan permeameter di laboratorium.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada para penelaah yang telah menajamkan pembahasan dalam makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

Barlow, P. M. dan Moench, A.F., 1999. *WTAQ-A Computer Program for Calculating Drawdowns and Estimating Hydraulic Properties for Confined and Water-Table Aquifers*. <https://pubs.usgs.gov/wri/wri99-4225/>

- Cheong, J.Y., Hamm, S.Y., Kim, H.S., Ko, E.J., Yang, K., dan Lee, J.H., 2008. Estimating hydraulic conductivity using grain-size analyses, aquifer tests, and numerical modeling in a riverside alluvial system in South Korea. *Hydrogeology Journal*, 16 (6), h. 1129-1143. DOI: 10.1007/s10040-008-0303-4.
- Freeze, R.A. dan Cherry, J.A., 1979. *Groundwater*. Prentice-Hall, Inc.
- Johnson, A.I., 1967. Specific yield: compilation of specific yields for various materials. *Water Supply Paper*. DOI: 10.3133/wsp1662D.
- Kruseman, G.P. dan de Ridder, N.A., 2000. *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data*. Diperoleh dari https://www.hydrology.nl/images/docs/dutch/key/Kruseman_and_De_Ridder_2000.pdf
- Neuman, S.P., 1975. Analysis of pumping test data from anisotropic unconfined aquifers considering delayed gravity response. *Water Resources Research*, 11 (2), h.329-342. DOI: 10.1029/WR011i002p00329.
- Oh, Y.Y., Hamm, S.Y., Chung, S.Y., dan Lee, B.D., 2013. Characterizing hydraulic properties by grain-size analysis of fluvial deposits depending on stream path in Korea. *Environmental Engineering Research*, 18 (3), h.129-137. DOI: 10.4491/eer.2013.18.3.129.
- Shamsuddin, M.K.N., Sulaiman, W.N.A., Ramli, M.F., dan Kusin, F.M., 2019. Vertical hydraulic conductivity of riverbank and hyporheic zone sediment at Muda River riverbank filtration site, Malaysia. *Applied Water Science*, 9 (1), h.8. DOI: 10.1007/s13201-018-0880-x.
- Wang, J.P., François, B., dan Lambert, P., 2017. Equations for hydraulic conductivity estimation from particle size distribution: A dimensional analysis. *Water Resources Research*, 53 (9), h.8127-8134. DOI: 10.1002/2017WR020888.
- Weeks, E.P., 1977. Aquifer tests the state of the art in hydrology. *Proceedings of the Invitational Well-Testing Symposium*.