

Geometri Akuifer dan Potensi Sumberdaya Airtanah di PT Charoen Pokphand Indonesia, Desa Cikasungka Kecamatan Cikancung, Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat

Aquifer Geometry and The Potential of Groundwater Resources in PT Charoen Pokphand Indonesia, Cikasungka Village, Cikancung Residence, Kabupaten Bandung, West Java Province

¹Danang Inayat Puspawardhana, ²Yunus Ashari, ³Dono Guntoro

^{1,2}*Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung,*

Jl. Tamansari No.1 Bandung 40116

email: ¹danang.inayat@yahoo.com, ²yunus_ashari@yahoo.com, ³guntoro_mining@yahoo.com

Abstract. The research location is in the village of Cikasungka, Cikancung subdistrict, Bandung regency, West Java province precisely in PT Charoen Pokphand Indonesia which is a food and animal slaughter. This plant needs water that fully utilize the groundwater resources in order to support all activities undertaken. Thus, it can be assessed on the geometry of the aquifer and the potential of groundwater resources. The research methodology used is primary data collection in the form of a pumping test all wells drilled and secondary data from the drilling activity report. The existence of the aquifer layer found at a depth of 50 meters with an average thickness of 37.8 meters. This layer is thinned from the southwest toward the northeast, but thickened again in the northeast end of the study site boundary. Type aquifer is semi-confined and confined. The direction of groundwater flow generally flows toward the north. Hydraulic conductivity values ranged 0.49-4.66 m/day and aquifer transmissivity values ranged 11.94-111.84 m²/day. The level of damage to groundwater based groundwater level decline pertained to the safety zone classification refers to the regulation of Perda Jawa Barat No. 8 Tahun 2012. Optimum discharge of wells ranged 2.12-4.15 liters/sec. Referring to the SNI 13-7121-2005, the potential of groundwater resources can be classified into the medium potential class ($Q_{opt} = 2-10$ liters / sec).

Keywords: aquifer, groundwater resources, optimum discharge

Abstrak. Lokasi penelitian berada di Desa Cikasungka, Kecamatan Cikancung, Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat tepatnya di PT Charoen Pokphand Indonesia yang merupakan perusahaan pangan dan penyembelihan hewan. Pabrik ini membutuhkan air yang sepenuhnya memanfaatkan sumberdaya airtanah guna mendukung segala kegiatan yang dilakukan. Sehingga, dapat dikaji mengenai geometri akuifer dan potensi sumberdaya airtanah. Metodologi penelitian yang digunakan adalah pengumpulan data primer berupa uji pemompaan seluruh sumur bor dan data sekunder berupa laporan kegiatan pengeboran. Keberadaan lapisan akuifer ditemukan pada kedalaman 50 meter dengan ketebalan rata-rata 37,8 meter. Lapisan ini semakin menipis dari arah barat daya menuju arah timur laut namun kembali menebal pada ujung timur laut batas lokasi penelitian. Jenis akuifer adalah semi tertekan dan tertekan. Arah aliran airtanah pada umumnya mengalir menuju arah utara. Nilai konduktivitas hidrolik berkisar antara 0,49-4,66 m/hari dan nilai transmisivitas akuifer berkisar antara 11,94-111,84 m²/hari. Tingkat kerusakan airtanah berdasarkan penurunan muka airtanah tergolong pada klasifikasi zona aman mengacu pada Perda Jawa Barat No. 8 Tahun 2012. Debit optimum sumur bor berkisar antara 2,12-4,15 liter/detik. Mengacu pada SNI 13-7121-2005, potensi sumberdaya airtanah dapat digolongkan kedalam kelas potensi sedang ($Q_{opt}=2-10$ liter/detik).

Kata Kunci: akuifer, sumberdaya airtanah, debit optimum

A. Pendahuluan

Latar Belakang

Air merupakan salah satu sumberdaya alam yang sangat dibutuhkan oleh semua makhluk hidup yang berada di alam semesta ini. Salah satu alternatif untuk mengatasi kebutuhan air adalah dengan cara memanfaatkan air yang berada di bawah permukaan atau airtanah. PT Charoen Pokphand Indonesia merupakan suatu perusahaan yang bergerak di bidang pangan dan juga penyembelihan hewan membutuhkan sumber air yang memanfaatkan sumberdaya airtanah guna mendukung kegiatan yang dilakukan. Oleh karena itu diperlukan suatu studi hidrogeologi yang mencakup pada penyebaran dan geometri lapisan akuifer serta potensi airtanah yang tersedia di daerah tersebut, sehingga dapat ditentukan berapa besarnya debit airtanah yang dapat dimanfaatkan sesuai dengan potensi airtanah pada daerah tersebut.

Tujuan Penelitian

1. Mengetahui sistem hidrogeologi yang meliputi keberadaan, penyebaran, jenis dan ketebalan akuifer serta arah aliran airtanah pada lokasi penelitian.
2. Menghitung nilai konduktivitas hidrolis (K) dan transmisivitas akuifer (T) di lokasi penelitian.
3. Menentukan kondisi airtanah berdasarkan kriteria penurunan muka airtanah di lokasi penelitian.
4. Menghitung debit optimum dari sumur bor airtanah pada lokasi penelitian.
5. Mengetahui potensi airtanah yang dapat dimanfaatkan pada lokasi penelitian.

B. Tinjauan Pustaka

Airtanah

Airtanah adalah air yang bergerak dalam tanah yang terdapat di dalam ruang-ruang antara butir-butir tanah yang kemudian disebut air lapisan dan di dalam retak-retak dari batuan yang disebut air celah. Airtanah tersimpan dalam lapisan batuan yang memiliki rongga (permeabel). Dalam hal ini lapisan batuan dapat dibedakan menjadi 4 jenis, yaitu:

1. Akuifer (*Aquifer*), adalah lapisan yang dapat menyimpan dan mengalirkan air dalam jumlah yang cukup berarti. Contoh: pasir, kerikil, batugamping rekahan.
2. Akuitar (*Aquitard*), adalah lapisan yang dapat menyimpan air dan mengalirkan air dalam jumlah yang terbatas. Contoh: lanau, lempung pasir atau pasir lempungan.
3. Akuiklude (*Aquiclude*), adalah lapisan yang mampu menyimpan air, tetapi tidak dapat mengalirkan dalam jumlah yang berarti. Contoh: lempung, serpih, tuf.
4. Akuifug (*Aquifuge*), Adalah lapisan batuan yang kedap air, tidak dapat menyimpan dan mengalirkan air. Contoh: andesit, granit dan gabro.

Uji Pemompaan

Tujuan utama dilakukannya uji pemompaan ini adalah untuk mengetahui karakteristik dari akuifer. Pada dasarnya uji pemompaan ini akan didapatkan parameter-parameter yang diantaranya adalah :

1. Konduktivitas Hidrolis (K)
2. *Specific Capacity* (Sc)
3. Transmisivitas (T)
4. *Specific Storage* (Ss)

Prosedur pengolahan kegiatan uji pemompaan adalah sebagai berikut :

- a. Dari kegiatan *step drawdown test* diperoleh data berupa debit pemompaan (Q) dan juga penurunan muka airtanah (MAT) akibat pemompaan (Δs). Data inilah yang akan menjadi dasar untuk menghitung beberapa parameter akuifer dan sumur. Langkah pengerjaannya adalah seperti berikut:

- Uji *step drawdown test*, dilakukan 5 x @3 jam, dimana pada setiap perubahan debit pemompaan (Q) diperoleh penurunan MAT (Δs);
- Plot titik-titik hubungan antara $\Delta s/Q$ (sumbu Y) dan Q (sumbu X) pada grafik cartesius;
- Garis regresi titik-titik data tersebut diperoleh persamaan linier ; $\Delta s = CQ + BQ^2$ atau $\Delta s/Q = C + BQ$, di mana:
 - B adalah koefisien *aquifer loss*, diperoleh dari perpotongan garis regresi dengan sumbu Y;
 - C adalah koefisien *well loss*, diperoleh dari gradient kemiringan garis regresi, atau:

$$C = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \text{tg } \alpha$$

- Nilai *Well Loss* dapat dihitung dengan cara :
Well Loss = C x Q²
- Dan Efisiensi sumur dapat dihitung melalui rumus :

$$E_w = \frac{Q/\Delta s}{Q/BQ} \times 100\%$$

Untuk keperluan eksploitasi, maka perlu dihitung berapa besar debit optimum yang dapat dipompa dari sumur produksi. Metoda yang digunakan adalah Metoda Grafis Sichardt. Metoda ini masih menggunakan data yang sama yaitu data dari *step drawdown test* dengan langkah pengerjaan seperti berikut :

- Plot titik-titik hubungan antara Δs sebagai sumbu Y dan Q sebagai sumbu X pada skala normal;
- Regresi titik-titik data tersebut dengan persamaan polinomial orde 2 (kuadrat);
- Hitung nilai Q maksimum pada akuifer dengan rumus :

$$Q_{\max} = 2\pi \cdot r_w \cdot D \left(\frac{\sqrt{K}}{15} \right)$$

Keterangan :

Q_{\max} : Debit maksimum (m³/det)

r_w : Jari-jari sumur (m)

D : Tebal akuifer (m)

K : Konduktivitas Hidrolik (m/det)

- Plot nilai Q_{\max} pada kurva, dan pada grafik tentukan nilai Δs_{\max} . Tarik garis vertikal dari Q_{\max} sampai memotong kurva. Dari titik potong tersebut, tarik garis horisontal memotong sumbu Y, maka nilai Δs_{\max} akan diperoleh;
 - Plot nilai Δs_{\max} yang diperoleh dari kurva;
 - Hubungkan titik Q_{\max} dan Δs_{\max} secara langsung sampai memotong kurva;
 - Dari titik potong dengan kurva ditarik garis vertikal sampai memotong sumbu X, maka nilai Q_{opt} diperoleh.
- b. Dari *constant rate test* data yang diperoleh berupa penurunan muka airtanah akibat pemompaan (Δs), waktu pemompaan (t) dan juga debit pemompaan (Q). Data tersebut yang menjadi dasar untuk menghitung beberapa parameter yang dapat

diperoleh dari kegiatan *constant rate test*. Langkah pengerjaannya adalah :

- Plot data pada kertas semi logaritmik, antara waktu (t dalam menit) pada sumbu X dan penurunan muka airtanah pada sumbu Y.
- Untuk mendapatkan nilai Δs_w (penurunan muka airtanah per satu siklus logaritmik), tarik garis lurus yang dianggap mewakili grafik hasil plot data *constant rate test*.
- Hitung Δs_w dengan mengambil nilai $t_2 = 10.t_1$.
Misalnya $t_1 = 1 \longrightarrow sw = sw_1$
 $t_2 = 10 \longrightarrow sw = sw_2$ } $\Delta s = sw_2 - sw_1$
- Setelah diketahui nilai Δs_w , dapat dihitung nilai dari Transmisivitas (T) dengan cara :

$$T = \frac{2,3 Q}{4\pi \cdot \Delta s_w}$$

Keterangan :

T : Transmisivitas (m²/det)

Q : Debit Pemompaan (m³/det)

Δs_w : Penurunan muka airtanah per satu siklus logaritmik (m);

- Setelah nilai transmisivitas diketahui, selanjutnya dapat dihitung nilai Konduktivitas Hidrolik (K) dengan cara :

$$K = \frac{T}{b}$$

Keterangan :

K : Konduktivitas Hidraulik (m/det)

T : Transmisivitas (m²/det)

b : Tebal Akuifer (m)

- Untuk mendapatkan nilai Specific Capacity (Sc), dihitung dengan cara:

$$Sc = \frac{Q}{\Delta s}$$

Keterangan :

Sc : Specific Capacity (lt/det/m)

Q : Debit Pemompaan (lt/det)

Δs_w : Penurunan muka airtanah per satu siklus logaritmik (m)

- Untuk menghitung potensi sumberdaya airtanah, dapat menggunakan rumus :

$$Q = T \cdot i \cdot L$$

Keterangan :

Q : Potensi Airtanah Total (m³/hari)

T : Transmisivitas (m²/hari)

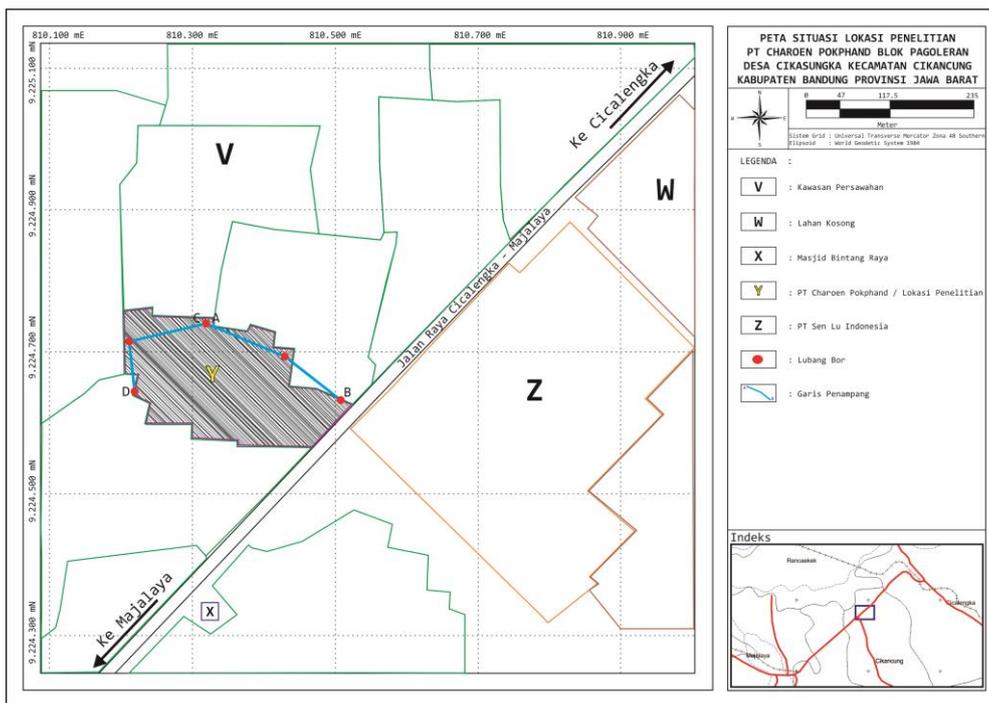
i : Gradien Hidrolik

L : Lebar Segmen (m)

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

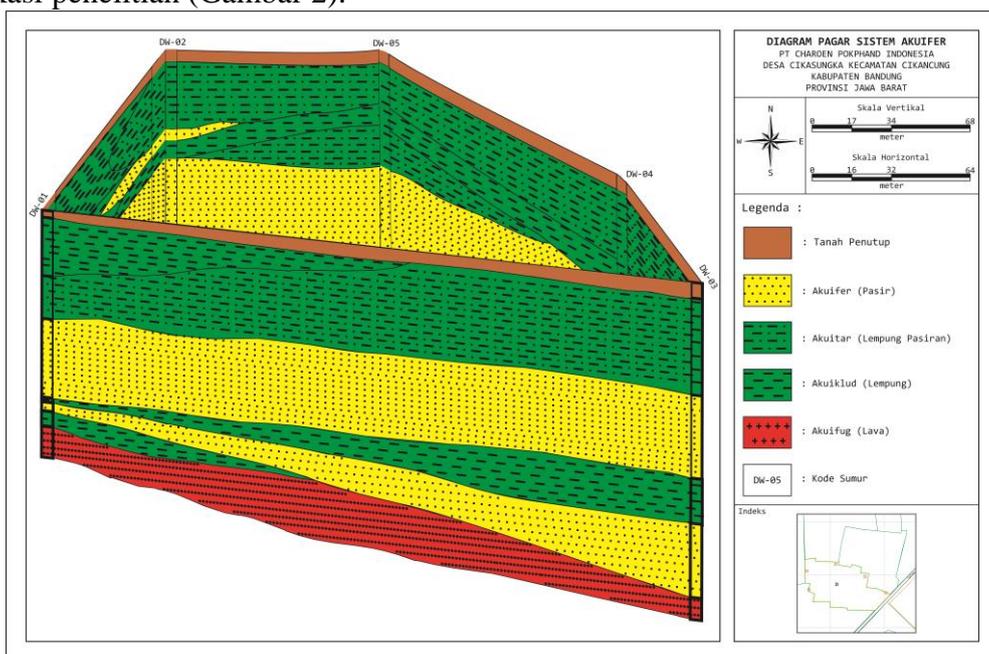
Korelasi dan Interpretasi Data Sumur

Pengetahuan tentang kondisi geologi bawah permukaan daerah penelitian didapatkan dari data pengeboran sumur airtanah dan juga data *logging*. Jumlah sumur bor airtanah pada lokasi penelitian sebanyak 5 titik yang keseluruhannya dilengkapi oleh data *logging*. Data sumur hasil pengeboran terdiri atas data analisis *cutting* dan data *logging* yang meliputi *log resistivity* (*short normal* dan *long normal*) dan *log spontaneous potential*.



Gambar 1. Peta Situasi Lokasi Penelitian

Selanjutnya, untuk mengetahui gambaran yang jelas mengenai geologi bawah permukaan maka dibuat penampang geologi yang didasarkan atas data bor. Arah penampang dibuat memotong lokasi sumur, sehingga arah penampang tersebut adalah penampang A-B berarah barat laut - tenggara dan penampang C-D berarah timur laut – barat daya. Penampang ini kemudian dapat dimodifikasi menjadi penampang hidrogeologi dengan memperhatikan sifat batuan terhadap airtanah. Untuk mendapatkan gambaran secara tiga dimensi maka dibuat diagram pagar system akuifer di lokasi penelitian (Gambar 2).



Gambar 2. Diagram Pagar Korelasi Litologi Sumur di PT Charoen Pokphand Indonesia

Berdasarkan hasil korelasi antara analisis *cutting* dan *well logging*, didapatkan empat jenis batuan yaitu, lempung pasir, lempung, batupasir dan lava. Keempat lapisan tersebut ditutupi oleh lapisan tanah penutup yang umumnya mempunyai ketebalan yang merata yaitu ± 5 meter. Setelah dikaitkan dengan sifat batuan terhadap air, didapatkan dua jenis akuifer yaitu semi tertekan dan tertekan. Keberadaan akuifer pada umumnya terdapat pada kedalaman 50 meter dan mempunyai ketebalan antara 31-48 meter. Ketebalan lapisan akuifer ini semakin menipis dari arah barat daya ke arah timur laut dan kembali menebal pada ujung timur laut batas lokasi penelitian. Terdapat beberapa lapisan akuifer lain yang juga masih berupa lapisan batupasir dengan jenis semi tertekan dan tertekan. Akan tetapi, keberadaan lapisan ini umumnya tidak menerus sehingga tidak dapat dikorelasikan dengan lapisan lainnya. Hal ini dapat diinterpretasikan bahwa lapisan akuifer tersebut mempunyai bentuk tubuh berupa lensa-lensa.

Karakteristik Akuifer

Tujuan utama dilakukannya uji pemompaan adalah untuk mengetahui karakteristik akuifer. Kegiatan uji pemompaan yang dilakukan terdiri dari dua tahap yaitu step drawdown test atau uji pemompaan debit bertingkat dan constant rate test atau uji pemompaan menerus. Masing-masing uji ini mempunyai tujuan yang berbeda, step drawdown test bertujuan untuk mengetahui debit optimum suatu sumur dan constant rate test bertujuan untuk mengetahui potensi total sumberdaya airtanah pada lokasi tertentu. Tabel 1 dan Tabel 2 merupakan hasil rekapitulasi pengolahan data step drawdown test dan constant rate test di lokasi penelitian.

Tingkat Kerusakan Airtanah Berdasarkan Penurunan Muka Airtanah

Berdasarkan kriteria kondisi dan lingkungan airtanah akibat pemanfaatan airtanah, dilakukan analisis tingkat kerusakan kondisi dan lingkungan airtanah berdasarkan pertimbangan kedalaman muka airtanah. Kedalaman muka airtanah yang diukur dari seluruh sumur di lokasi penelitian menunjukkan kisaran kedalaman antara 6,6 – 10 meter untuk muka airtanah statis (sebelum dilakukan pemompaan) dan 14,6 – 38,52 meter dari muka tanah setempat untuk muka airtanah dinamis (pada saat pemompaan).

Tabel 1. Rekapitulasi Pengolahan Data *Step Drawdown Test*

Kode Sumur	Step Ke-	Q (lt/det)	Δs (m)	$\Delta s/Q$ (m/lt/det)	Koef Akuifer Loss (m/lt/det)	Koef Well Loss (m)	Aquifer Loss (m/lt ² /det ²)	Well Loss (m/lt ² /det ²)	Ew (%)	Qmax (lt/det)	Δs_{max} (m)	Qopt (lt/det)	Δs_o (m)	Ew opt (%)
DW-01	Tahap I	5.8	18.97	3.27	3.04	0.045	17.632	1.51	92.95	4.17	13.36	2.12	6.62	97.35
	Tahap II	7.3	24.32	3.33			22.192	2.40	91.25					
	Tahap III	8.8	29.85	3.39			26.752	3.48	89.62					
DW-02	Tahap I	2.5	12.09	4.84	4.45	0.16	11.13	1.00	92.02	5.03	26.43	2.60	12.69	91.17
	Tahap II	4.0	20.47	5.12			17.80	2.56	86.96					
	Tahap III	5.5	29.24	5.32			24.48	4.84	83.70					
DW-03	Tahap I	5.1	6.92	1.36	1.24	0.021	6.32	0.55	91.39	7.84	11.06	4.09	5.36	93.72
	Tahap II	7.5	10.47	1.40			9.30	1.18	88.83					
	Tahap III	10	14.65	1.47			12.40	2.10	84.64					
DW-04	Tahap I	2.92	3.34	1.14	1.07	0.026	3.1244	0.22	93.54	7.96	10.13	4.15	4.88	90.99
	Tahap II	4.05	4.76	1.18			4.3335	0.43	91.04					
	Tahap III	5.16	6.2	1.20			5.5212	0.69	89.05					
DW-05	Tahap I	2.07	9.22	4.45	4.27	0.091	8.84	0.39	95.87	5.11	24.12	2.62	11.82	94.65
	Tahap II	2.67	12.09	4.53			11.40	0.65	94.30					
	Tahap III	3.27	14.92	4.56			13.96	0.97	93.59					

Tabel 2. Rekapitulasi Pengolahan Data *Constant Rate Test*

No.	Kode Sumur	Muka Airtanah (MA T) (m)	Debit (Q) (lt/det)	Dynamic Water Level (DWL) (m)	Drawdown (Δs) (m)	Specific Capacity (S_c) (lt/det/m)	Transmisiivitas (T) (m ² /hari)	Tebal Akuifer (b) (m)	Konduktivitas Hidrolik (K) (m/hari)
1	DW-01	7.2	2.3	37.05	5.04	0.45	27.63	39	1.15
2	DW-02	7.5	2.83	38.52	7.29	0.39	11.94	73	0.49
3	DW-03	6.6	4.21	22.8	4.12	1.02	38.40	75	1.61
4	DW-04	8.4	4.25	14.6	0.73	5.82	111.84	45	4.66
5	DW-05	9.9	2.71	24.5	0.81	3.34	63.87	61	2.66

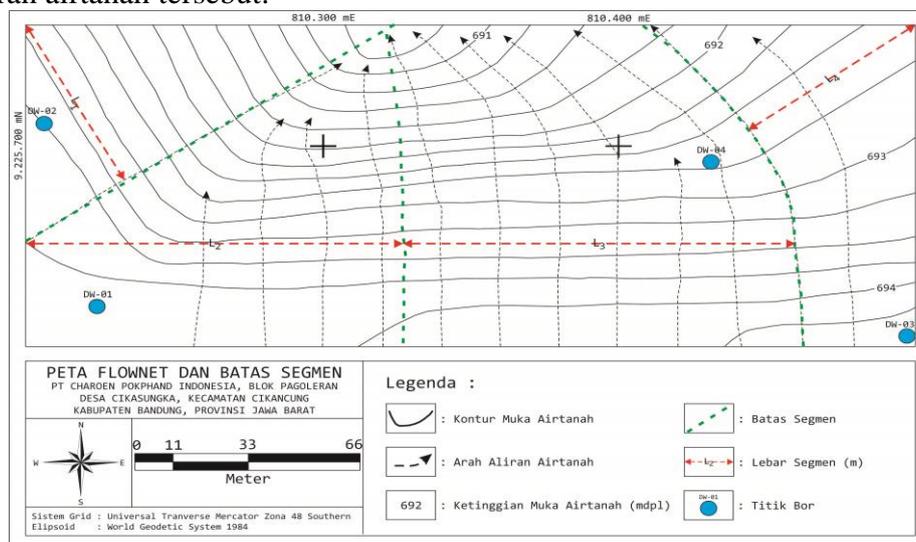
Penurunan muka airtanah di lokasi penelitian menunjukkan penurunan kurang dari 40% (Tabel 3) dari total kedalaman sumur. Apabila mengacu pada Peraturan Daerah Provinsi Jawa Barat Nomor 8 Tahun 2012 Tentang Pengelolaan Airtanah maka penurunan muka airtanah *pizometrik* di lokasi penelitian tidak lebih dari 40% dapat diklasifikasikan ke dalam Zona Aman.

Tabel 3. Persen Penurunan Muka Airtanah di Lokasi Penelitian

Kode Sumur	SWL (m)	DWL (m)	Drawdown (m)	Kedalaman (m)	Tebal Akuifer (m)	% Penurunan
DW-01	7.2	37.05	29.85	110	39	29.04
DW-02	7.5	38.52	31.02	158	73	20.61
DW-03	6.6	22.8	16.2	150	75	11.3
DW-04	8.4	14.6	6.2	150	66	4.38
DW-05	10	24.5	14.5	155	45	10

Flownet

Flownet merupakan peta yang menggambarkan kontur airtanah dan arah aliran airtanah. Berdasarkan konstruksi *flownet*, secara umum arah aliran air tanah di lokasi penelitian mengarah keutara. Data *flownet* digunakan sebagai dasar untuk menghitung potensi airtanah secara keseluruhan di lokasi penelitian dengan terlebih dahulu membagi lokasi penelitian menjadi beberapa segmen yang mewakili sesuai dengan arah aliran airtanah tersebut.

**Gambar 3.** Peta *Flownet* PT Charoen Pokphand Indonesia

Debit Optimum dan Potensi Sumberdaya Airtanah

Penentuan potensi sumberdaya airtanah di lokasi penelitian menerapkan standar SNI 13-7121-2005, yang menggunakan parameter debit optimum (Q_{opt}). Terdapat tiga kelas sumberdaya airtanah, yaitu tinggi ($Q_{opt} > 10$ lt/det), sedang ($Q_{opt} 2-10$ lt/det) dan rendah ($Q_{opt} < 2$ lt/det). Di lokasi penelitian besaran nilai debit optimum yang diperoleh dari lima buah sumur bor airtanah berkisar antara 2,12 - 4,15 lt/det. Apabila mengacu kepada standar yang digunakan, maka potensi sumberdaya airtanah di lokasi penelitian dapat digolongkan kedalam Airtanahberpotensi Sedang (Tabel 4), dengan jumlah potensi total sebesar 349,84 m³/hari (Tabel 5).

Tabel 4. Penggolongan Kelas Potensi Sumberdaya Airtanah di Lokasi Penelitian Menurut Standar SNI 13-7121-2005

No	Kode Sumur	Debit Optimum (Q_{opt}) (liter/detik)	Kelas Potensi Sumberdaya Airtanah
1	DW-01	2,60	Sedang
2	DW-02	2,12	Sedang
3	DW-03	4,05	Sedang
4	DW-04	4,15	Sedang
5	DW-05	2,62	Sedang

Tabel 5. Potensi Sumberdaya Airtanah

Segmen	Transmisivitas (m ² /hari)	Gradien Hidrolik	Lebar Segmen (m)	Potensi (Q) (m ³ /hari)
Segmen 1	37.9	0.0237	59.75	55.47
Segmen 2	45.75	0.0228	115.59	129.38
Segmen 3	87.85	0.0088	117.37	115.21
Segmen 4	51.14	0.0112	59.97	49.78
Q Total (m ³ /hari)				349.84

Potensi total airtanah adalah sebesar 349 m³/hari (17,49 liter/detik) dan apabila pada pengeksploitasinya nanti sesuai dengan nilai debit optimum dari setiap sumur dengan total nilai debit optimum sebesar 15,54 liter/detik, maka jumlah tersebut merupakan 88,84% dari estimasi debit total yang terdapat di lokasi penelitian. Dengan kata lain pabrik dapat memanfaatkan sebesar 88,84% dari debit total airtanah yang tersedia, dan kondisi airtanah masih aman.

D. Kesimpulan

1. Keberadaan lapisan akuifer pada umumnya ditemukan pada kedalaman 50 meter dengan ketebalan rata-rata sekitar 37,8 meter. lapisan akuifer ini semakin menipis dari arah Barat Daya menuju arah Timur Laut namun kembali menebal pada ujung Timur Laut batas lokasi penelitian. Jenis akuifer adalah semi tertekan dan tertekan. Arah aliran airtanah pada umumnya mengalir menuju arah utara.
2. Nilai konduktivitas hidrolik berkisar antara 0,49-4,66 m/hari dan nilai transmisivitas akuifer berkisar antara 11,94-111,84 m²/hari.
3. Tingkat kerusakan airtanah berdasarkan penurunan muka airtanah tergolong pada klasifikasi zona aman (< 40%) mengacu pada Perda Jawa Barat No. 8 Tahun 2012.

4. Debit optimum sumur bor berkisar antara 2,12-4,15 liter/detik.
5. Mengacu pada SNI 13-7121-2005, potensi sumberdaya airtanah dapat digolongkan kedalam kelas potensi sedang ($Q_{opt}=2-10$ liter/detik) dan potensi total sumberdaya airtanah sebesar 17,49 liter/detik.

Daftar Pustaka

- Beroperay, C.F.P. 2013. *Penentuan Debit Aliran Airtanah pada Area Kampus Universitas Negeri Papua Menggunakan Metode Analisa Jaring Aliran (Flownet)*, Skripsi Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Papua.
- Cooper, H. H., Jacob, C. E. 1964. *A Generalized Graphical Method for Evaluation Formation Constant and Summarising Well Field History*, Am. Geophysic Union Trans, Vol 2.
- Driscoll, F. G. 1986. *Groundwater and Wells*, Johnson Division, St. Paul, MN, ISBN 0-9616456-0-1.
- Kruseman, G.P., de Ridder, N.A. 1970. *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data*, International Institute for Land & Rec. Inpr., Wageningen, The Netherlands.
- Todd, D., K., 1980, *Groundwater Hydrology*, 2nd Edition, John Wiley and Sons, New York.