

STUDI KAPASITAS DEBIT AIR TANAH PADA AKUIFER TERTEKAN DI KOTA MALANG

Moh. Abduh

Program Magister Teknik Pengairan, Fak. Teknik Universitas Brawijaya,
email: abduhmlg@gmail.com

Abstrak: Tujuan studi ini adalah untuk mengetahui perkiraan potensi debit airtanah, debit optimum yang tersedia dan mengetahui debit airtanah yang telah diambil atau dieksploitasi di kota Malang. Metode analisis yang digunakan adalah metode Pumping Test Long Period Test, dengan uji sumur dan uji akuifer. Hasil analisis tampilan akuifer (Performance aquifer test) dari 18 titik sumur diperoleh 3 sumur dengan aliran tidak tunak (unsteady state flow) dan 15 sumur dengan aliran tunak (steady state flow). Berdasarkan uji sumur (well test) dan uji akuifer (aquifer test), potensi airtanah (Q_p) di kota Malang adalah antara 1,22 hingga 15,64 ltr/detik atau sebesar 105,41 hingga 1.351,30 m^3 /hari. Debit optimum ($Q_{opt.}$) yang tersedia antara 0,66 hingga 9,03 ltr/detik atau sebesar 57,00 hingga 780,00 m^3 /hari, sedangkan debit pengambilan atau debit operasi sumur yang terjadi berdasarkan data daerah studi (Q_{op}) adalah antara 1,50 hingga 10,00 ltr/dt atau sebesar 129,60 hingga 864,00 m^3 /hari melebihi debit optimum sumur. Pengaruh pengambilan airtanah yang berlebihan adalah penurunan permukaan airtanah yang berakibat buruk terhadap kondisi ketersediaan air. Langkah-langkah pengelolaan airtanah dan konservasinya antara lain menjaga kelestarian lingkungan dan mengendalikan eksplorasi airtanah serta memperhatikan pengaruh pemompaan dan penurunan muka airtanah, dengan menentukan jarak minimum ($2R$) antar titik sumur dan debit pemompaan tidak melebihi debit optimum yang tersedia. Dengan langkah-langkah pengelolaan seperti tersebut di atas diharapkan perubahan atau penurunan permukaan airtanah akibat pemompaan tidak melebihi titik batas yang seharusnya.

Kata kunci: Debit optimum, Debit pengambilan, Potensi airtanah, Pumping Test, Steady dan Unsteady flow.

Abstract: Target of this study is to know estimate of potency of groundwater discharge, available optimum discharge and groundwater discharge which have been taken or exploited in Malang town. Analysis method of this study are Pumping Test method (Long Period Test), with the well test and aquifer test. The result of the analysis of performance aquifer test from the 18 well to be taken 3 well the type of flow is unsteady state flow and 15 well is steady state flow. According to the well test and aquifer test, groundwater potency (Q_p) in Malang town between 1,22 up to 15,64 ltr/sec or 105,41 up to 1.351,30 m^3 /day. The optimum discharge ($Q_{opt.}$) available between 0,66 up to 9,03 ltr/sec or 57,00 u to 780,00 m^3 /day, while operation discharge of the well according to the existing data (Q_{op}) between 1,50 up to 10,00 ltr/sec or 129,60 up to 864,00 m^3 /day exceeding of optimum discharge. Influence effect of abundant exploited of groundwater is degradation of surface of groundwater and causing ugly to condition of the availability of water. Stages, steps management of groundwater and conservation for example by taking care of continuity of environment and control groundwater exploration and also pay attention influence of pumping and degradation of surface of groundwater, by determining apart minimum ($2R$) between well and pumping discharge do not exceed available optimum discharge. With management stages, steps like expected above mentioned of change or degradation of surface of groundwater effect of pumping do not exceed boundary.

Keywords: Groundwater potency, Optimum discharge, Operation discharge, Pumping Test, Steady and Unsteady flow.

Air adalah materi atau unsur yang sangat penting bagi semua kehidupan di muka bumi ini. Manusia dan semua makhluk lainnya membutuhkan air (Kodoatie dan Sjarief, 2010). Salah satu dampak yang pasti terjadi akibat tidak terjaganya kawasan kon-

servasi adalah bahaya habisnya cadangan airtanah dan jumlah debit limpasan permukaan pada saat musim hujan semakin besar dan memberikan pengaruh cukup dominan terhadap bahaya banjir seperti di daerah galunggung dan beberapa tempat lainnya. Be-

berapa hal yang menjadi masalah adalah pengambilan airtanah yang tidak terkontrol dan langkah konservasi yang kurang diperhatikan menyebabkan ketersediaan airtanah jangka panjang semakin menipis, lahan terbuka hijau yang semakin berkurang memperburuk kondisi lingkungan dan resapan air sehingga ketika musim kemarau datang terjadi kekeringan dan saat musim hujan tiba terjadi genangan dimana-mana serta kurangnya penanganan konservasi dari instansi terkait maupun masyarakat lingkungan sekitar.

Studi ini bertujuan untuk:

- a. mengetahui perkiraan kapasitas debit airtanah yang tersedia di kota Malang.
- b. mengetahui debit airtanah yang telah diproduksi atau dieksploitasi berdasarkan data sumur bor.
- c. mengetahui debit optimum yang tersedia.

Manfaat yang hendak dicapai antara lain;

- a. menjadi batasan dalam pengambilan airtanah agar tidak berlebihan karena hal ini dapat merusak lingkungan,
- b. dapat mengendalikan besarnya debit airtanah yang dieksplorasi.
- c. sebagai gambaran dalam menentukan langkah konservasi yang sesuai dengan daerah studi.

METODOLOGI PENELITIAN

Berdasarkan hasil pengumpulan data di lapangan, tahapan untuk melakukan studi kapasitas operasi debit airtanah ini adalah sebagai berikut:

1. Teknik pengumpulan data
Data studi yang berhasil dikumpulkan berjumlah 18 titik sumur bor pada daerah studi dan tersebar di 5 kecamatan yang meliputi data-data :
 - a. Data topographi dan administrasi
 - b. Data lokasi sumur dalam yang ada di wilayah studi.
 - c. Data proses pelaksanaan pengeboran atau data proses pengeboran.
 - d. Data geologi log atau bor log.
 - e. Data uji *pumping test*
 - f. Data konstruksi sumur
 - g. Debit airtanah yang telah diproduksi.
2. Analisis data (*Pumping Test* metode *Long Period Test*):
 - a. Uji sumur (*well test*) terkait dengan trend penurunan muka airtanah, kapasitas jenis sumur, kondisi sumur dan kelas sumur, debit dan penurunan muka airtanah optimum
 - b. Perhitungan jari-jari pengaruh pemompaan berdasarkan debit operasi.

- c. Uji akuifer (*Aquifer test*) terkait dengan nilai-nilai Transmisivitas (T), Storativity (Sr), Permeabilitas (K), penurunan muka airtanah akibat pemompaan (*cone depression*) berdasarkan metode yang sesuai karakteristik data.
- d. Implementasi borlog sumur terhadap litologi airtanah daerah studi
- e. Implementasi jari-jari pengaruh pemompaan terhadap topographi daerah studi.
- f. Langkah-langkah mendasar yang harus dilakukan sebagai bagian dari upaya konservasi airtanah tersebut.

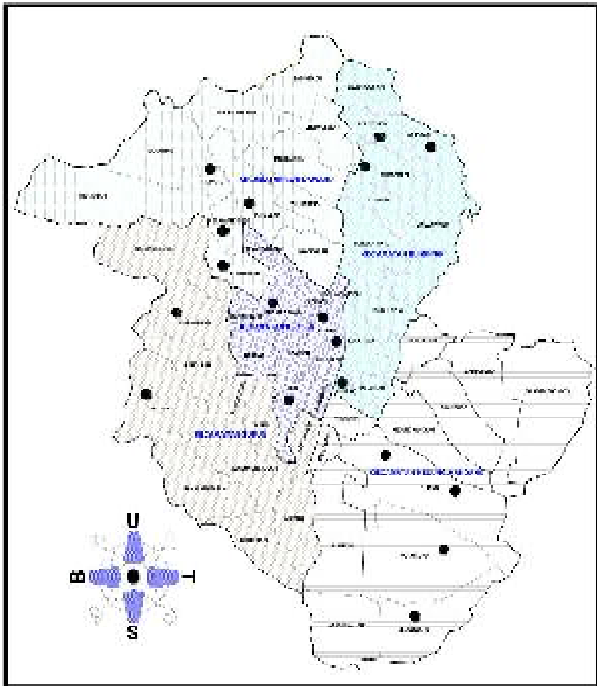
Lokasi studi adalah kota Malang yang merupakan salah satu daerah otonom dan merupakan kota besar kedua di Jawa Timur setelah Kota Surabaya. Secara geografis wilayah Kota Malang berada antara $07^{\circ}46'48''$ – $08^{\circ}46'42''$ Lintang Selatan dan $112^{\circ}31'42''$ – $112^{\circ}48'48''$ Bujur Timur, dengan luas wilayah 110,06 km² dengan batas-batas:

- Batas Utara : Kabupaten Malang
- Batas Selatan : Kabupaten Malang
- Batas Timur : Kabupaten Malang
- Batas Barat : Kabupaten Malang

Kota Malang terdiri dari 5 Kecamatan yaitu Kedungkandang, Klojen, Blimbing, Lowokwaru, dan Sukun serta 57 kelurahan. Daerah studi mempunyai elevasi antara 300–1.694 m di atas muka air laut. Secara geologi daerahnya disusun oleh batuan hasil kegiatan gunungapi yang terdiri dari tufa, tufa pasir, breksi gunung api, aglomerat, dan lava. Secara hidrogeologi akumulasi air tanah di Cekungan Malang dijumpai pada lapisan akuifer yang dapat dipisahkan menjadi 3 (tiga) kelompok, yaitu kelompok *akuifer* dengan kedalaman kurang dari 40 m, kelompok *akuifer* dengan kedalaman antara 40–100 m, dan kelompok *akuifer* dengan kedalaman antara 100–150 m

Analisis *Pumping Test* (*Step drawdown test*)

Untuk menentukan konsistensi dan optimalisasi dari sebuah sumur bor serta menentukan parameter-parameter terkait, maka koefisien keterusan, kapasitas jenis, koefisien daya simpan dan analisis geologi-log sangat diperlukan. Metode-metode yang mendukung perhitungan dan analisis ini dalam studi ini adalah seperti diuraikan dalam *flowchart-flowchart* di bawah. Metode-metode ini digunakan untuk mengetahui secara rinci perilaku airtanah akibat pemompaan, baik penurunannya, pengisian kembali dan pengaruhnya terhadap elevasi airtanah.



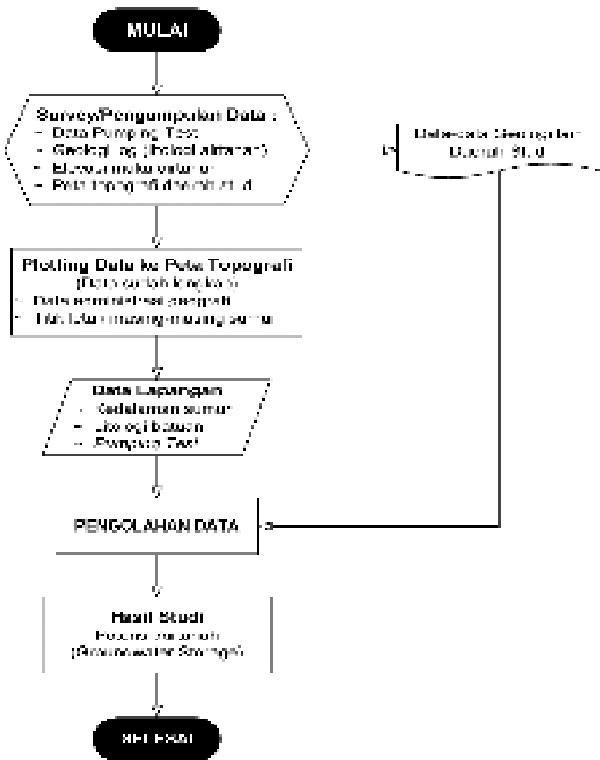
(sumber: Pemerintah kota Malang, 2009)

Gambar 1. Peta lokasi studi

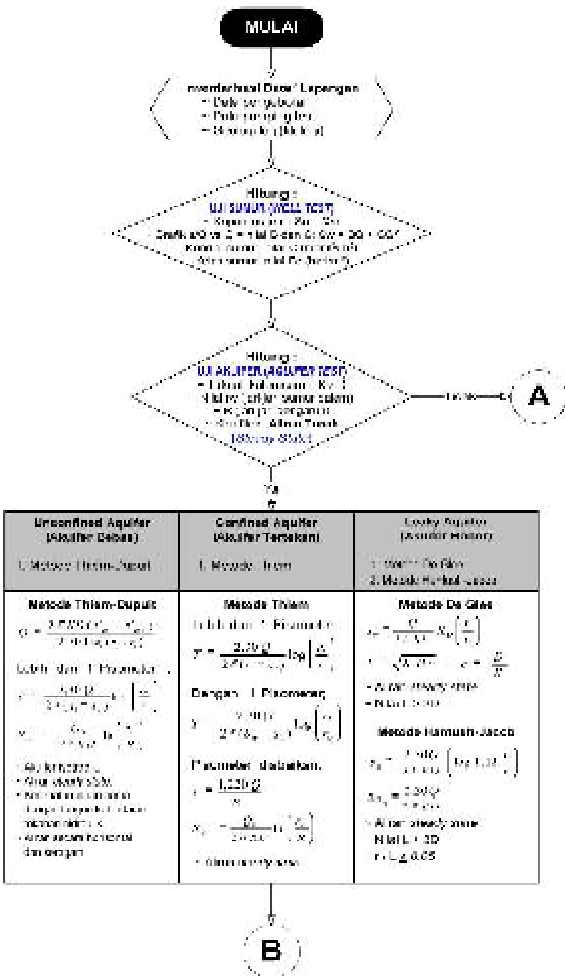
Diagram Alur



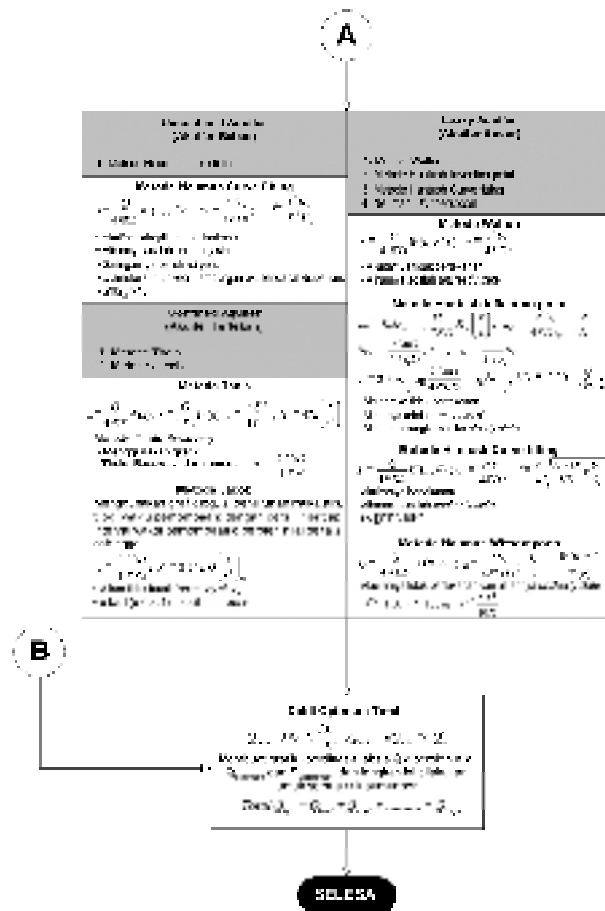
Gambar 2. Diagram alur studi



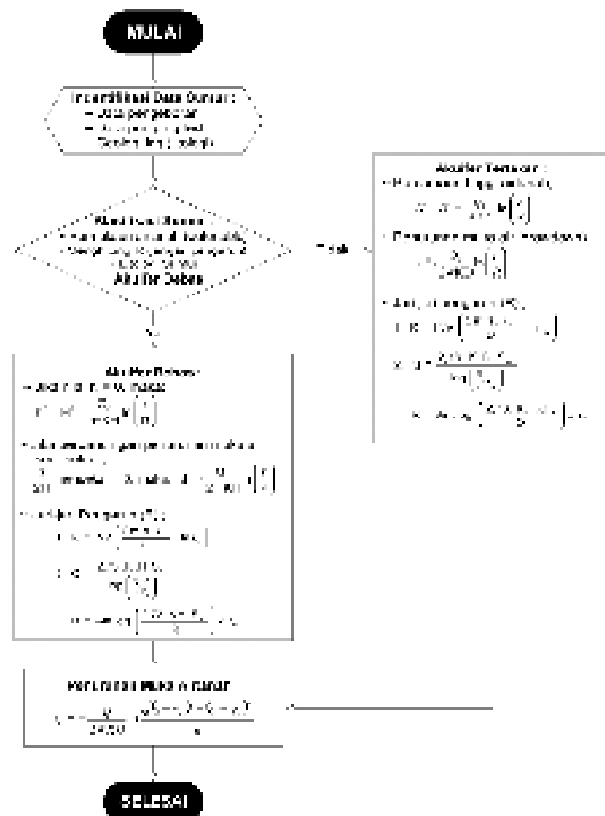
Gambar 3. Diagram alur groundwater storage



Gambar 4. Diagram alur analisis debit pompaan



Gambar 4. Diagram alir analisis debit pemompaan (lanjutan)



Gambar 5. Diagram alir uji sumur

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Lapangan

Berdasarkan data sekunder yang diperoleh penulis dalam studi meliputi data-data seperti berikut ini:

- Data cekungan airtanah (CAT) Jawa Timur yang merupakan gambaran secara umum mengenai peta geohidrologi Jawa Timur seperti peta terlampir.
- Data lokasi sumur bor dalam yang tersebar di wilayah.
- Data geologi log atau bor log yang menguraikan tentang jenis lapisan geologi sumur dari permukaan hingga dasar sumur bor.
- Data pelaksanaan konstruksi sumur yang menjelaskan tentang hal ihwal konstruksi sumur.
- Data pelaksanaan pumping test dan debit pengambilan (operasi).

Uji Sumur (Well Test)

Berikut ini adalah analisis perhitungan uji sumur (*well test*) berdasarkan data yang diperoleh dari lapangan terhadap beberapa titik sumur bor yang diperoleh penulis. Berdasarkan data lapangan yang ada kemudian oleh penulis kembangkan sehingga menjadi data yang siap dianalisis berdasarkan kebutuhan analisis yang diperlukan.

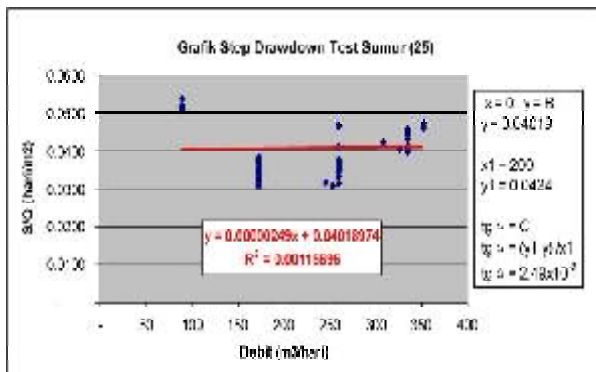
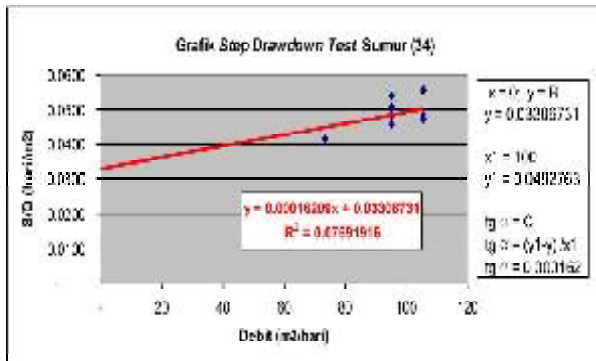
- Interpretasi gambar bor log dan konstruksi sumur sesuai disain saringan (*screen*) yang berfungsi untuk menentukan ketebalan akuifer terpakai.
- Menghitung beberapa item seperti item-item berikut ini.

Tabel 1. Contoh tabel data tersedia dan item tambahan

NO	EI. Muka Air			Water Level (m)		Debit Pemompaan (Q)		S _w /Q	S _w = Q/S _w
	1	2	3	SWL	TKA	1/Q	2/Q		
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(1/Q)	(2/Q)		
1	21.40	0	0	0.30	2.10				
2		1	1	1.00	7.40	2.35	73.44	0.242	0.002273
3		2	2	1.80	8.80	1.10	60.21	0.249	0.002252
Data tersedia							Komparasi	dihitung	

- Membuat grafik normal (*Step drawdown test*) dengan absis debit dan ordinat s_w/Q untuk mendapatkan nilai B dan C sehingga dapat dihitung nilai kehilangan tekanan pada akuifer (*Aquifer loss/BQ*) dan kehilangan tekanan pada sumur (*well loss/CQ²*) seperti dibawah ini.
- Menghitung penurunan muka air total (S_w) = BQ + CQ²
- Menghitung besarnya kapasitas jenis sumur (S_c) berdasarkan penurunan muka air total (S_w)

$$\text{sehingga } S_c = \frac{Q}{S_w}$$



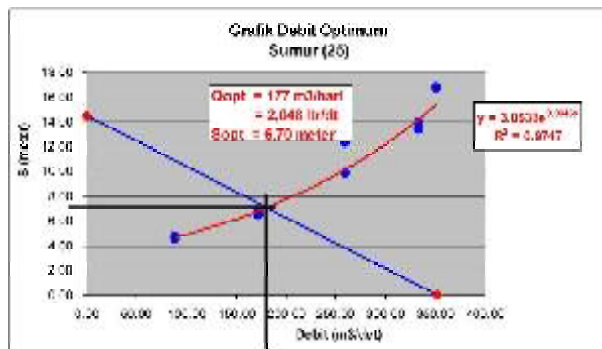
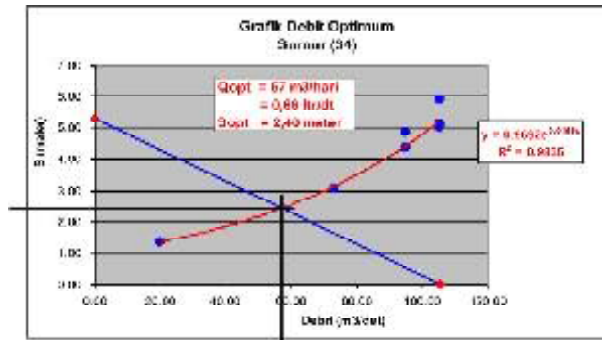
- f. Menghitung besarnya efisiensi pompa (E_p) berdasarkan penurunan muka air total (S_w)

$$\text{sehingga } E_p = \frac{BQ}{S_w} \times 100\%$$

- g. Menentukan kondisi sumur bor berdasarkan nilai koefisien *well loss* (C)
- h. Menentukan kelas sumur bor dengan cara menghitung nilai faktor pengembangan

$$(Fd) = \frac{C}{B} \times 100\%$$

- i. Membuat grafik normal (Debit optimum) dengan absis debit pemompaan dan ordinat penurunan muka air selama pemompaan (s_w) sehingga diperoleh nilai debit optimum (Q_{opt}) dan penurunan muka air total optimum ($S_{w\ opt}$).



Uji Akuifer (*Aquifer Test*)

Berdasarkan data sekunder dan uji sumur seperti uraian di atas, maka langkah berikutnya yang harus dilakukan adalah pengujian akuifer (*aquifer test*). Uji akuifer dimaksudkan untuk menguji lapisan pembawa airnya dengan tujuan agar diperoleh atau

[illegible]

Tabel 2. Hasil Pengujian Sumur Bor /W/W Test/ di Daerah Studi (Lanjutan)

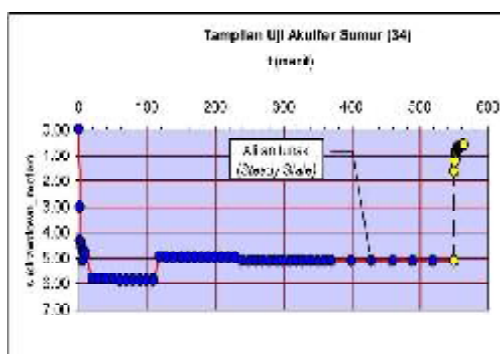
No.	No Sumur Bor Lokasi	It kedalaman sumur (m)	Q ₁₀ (m ³ /D)		S _w (m)	D.S. (m)	B (m)	C _{grain} (%)			BC	C ₁₀ (%)	K _p (cm)	R ₁₀ (m)			C ₁₀ (m)	S _r (%)	R ₁₀ (m)	Jarak minimal (m)
			Flowing	Static				1-2	2-3	3-4				1-2	2-3	3-4				
III	KEC. RUMAH KES																			
3	15. Rumah Nelon KES Jodan	11.0	1.50	3.00	0.14	0.30	1.10	1.10	1.10	0.10	0.10	0.10	0.022	0.10	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10	100.00
4	16. Pakir Taha Sana (g)	21.0	2.50	3.00	0.20	0.30	1.20	1.20	1.20	0.10	0.10	0.10	0.048	0.10	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10	100.00
11	20. Rumah Pakir Taha S. Pakir Taha	10.0	0.50	3.00	0.10	0.30	1.10	1.10	1.10	0.10	0.10	0.10	0.006	0.10	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10	100.00
15	24. Pakir Taha Pakir Taha	11.0	1.10	3.00	0.10	0.30	1.10	1.10	1.10	0.10	0.10	0.10	0.022	0.10	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10	100.00
III	KEC. KEDUNG NARONG																			
5	1. Baring Baring Kuning Kuning	10.0	2.50	3.00	0.10	0.30	1.10	1.10	1.10	0.10	0.10	0.10	0.020	0.10	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10	100.00
9	20. Kuning Kuning Kuning Kuning Kuning Kuning	10.0	1.10	3.00	0.10	0.30	1.10	1.10	1.10	0.10	0.10	0.10	0.002	0.10	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10	100.00
10	21. Pakir Taha Kuning Kuning Kuning Kuning Kuning	11.0	0.50	3.00	0.10	0.30	1.10	1.10	1.10	0.10	0.10	0.10	0.007	0.10	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10	100.00
17	22. Pakir Taha Kuning Kuning Kuning Kuning Kuning	10.0	1.10	3.00	0.10	0.30	1.10	1.10	1.10	0.10	0.10	0.10	0.008	0.10	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10	100.00
IV	KEC. KEDUNG NARONG																			
12	17. Pakir Taha Kuning Kuning Kuning Kuning Kuning	10.0	1.10	3.00	0.10	0.30	1.10	1.10	1.10	0.10	0.10	0.10	0.002	0.10	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10	100.00
18	20. Pakir Taha Kuning Kuning Kuning Kuning Kuning	10.0	1.10	3.00	0.10	0.30	1.10	1.10	1.10	0.10	0.10	0.10	0.009	0.10	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10	100.00

didapatkan sifat hidraulik dari akuifer tersebut. Selain itu tujuan dilakukannya uji akuifer adalah untuk menetapkan jenis akuifer sebagai dasar untuk menetapkan hasil analisis, deskripsi geologi, besarnya debit yang diperoleh dan penurunan muka air sumur (*draw-down*). Dalam hal ini sesuai dengan batasan uji akuifer, yaitu jenis aliran tertekan (*confined* dan *leaky aquifer*).

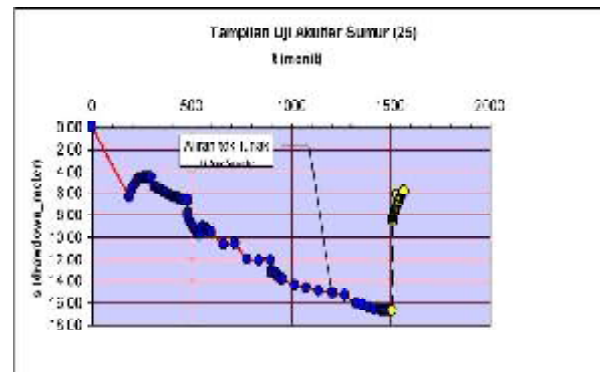
Sifat-sifat hidraulik dari akuifer yang diinginkan adalah nilai transmissivitas akuifer (T), koefisien kelulusan air atau permeabilitas lapisan (K), koefisien daya tampung atau storativiti (S_r). Metode yang akan digunakan dalam uji akuifer ini adalah metode *Long Period Test* dengan metode analisis menyesuaikan jenis aliran dalam sumur yaitu tunak (*steady state flow*) atau tidak tunak (*unsteady state flow*).

Langkah-langkah yang diperlukan dalam uji akuifer ini adalah sebagai berikut:

- Membuat grafik normal Tampilan Uji Akuifer (*Performance Aquifer Test*) dengan absis waktu pemompaan (t = menit) dan ordinat penurunan muka air (s_w) berfungsi untuk menentukan tipe aliran dalam sumur (*Unsteady* atau *Steady state flow*)



Gambar 6. Grafik tampilan akuifer sumur 34



Gambar 6. Grafik tampilan akuifer sumur 25

- Menentukan ketebalan akuifer (D) dan ketebalan akuifer bagian atas (D') sesuai data sekunder yang diperoleh.
- Menentukan nilai koefisien kelulusan air (K) dari akuifer dan nilai koefisien kelulusan dari akuifer bagian atas (K') berdasarkan data litologi lapisan dari hasil bor log yang kemudian disesuaikan dengan tabel nilai K seperti tabel 3 berikut.
- Menentukan besarnya jari-jari sumur (r_w) yang sudah terpasang dengan dinding permanent (*casing*) sesuai data konstruksi yang tersedia.
- Menghitung nilai jari-jari pengaruh dari pemompaan akuifer (R) berdasarkan debit pemompaan tertinggi dari hasil data *pumping test* dengan menggunakan rumus-rumus sebagai berikut:

$$1. R = \text{INV} \left(\frac{2 \pi \cdot s \cdot KD}{Q} + \ln r_w \right)$$

$$2. Q = \frac{2,73 \cdot K \cdot D \cdot S_w}{\log \left(\frac{R}{r_w} \right)}$$

$$R = \text{Antilog} \left(\frac{2,73 \cdot KD \cdot S_w}{Q} \right) \times r_w$$

Dari dua formula di atas digunakan nilai terbesar sebagai dasar perhitungan selanjutnya.

Tabel 3. Kemudahan dan sanitasi drainasi berbagai lapisan tanah (Lorazghi et al 1996)

		Permeability (m/s)											
		10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}
Drainage													
	Good												
	Poor												
	Practically impervious												
Soil Types	Clean gravel	1 to 2 mm sand, clean sand & gravel mixture					Very fine sand, organic & inorganic silts, mixtures of sand, silt & clay, glacial till, stratified clay deposits, etc.					Impervious soils e.g., homogeneous clays below zone of weathering	
							Impervious rock modified by effects of vegetation & weathering						

- f. Dikarenakan data yang tersedia tidak ada satu-pun yang menyertakan uji *pumping test* dengan sumur pantau, maka untuk dapat menganalisis uji akuifer selanjutnya harus ada titik sumur pantau sehingga dalam hal ini penulis membuat sumur pantau asumsi dengan jarak tertentu. Dikarenakan sifat penurunan muka airtanah akibat pemompaan (*cone depression*) cenderung membuat kerucut dan dibatasi oleh jari-jari pengaruh (R) maka selanjutnya asumsi pisometernya adalah dengan menggunakan dasar perumusan parabolik seperti gambar dan formula berikut ini:
- i. Menghitung nilai $c = D'/K'$ dan nilai $L = \sqrt{K \cdot D \cdot c}$; sehingga diperoleh nilai L dan r/L sebagai dasar batasan untuk menentukan metode yang dipakai.
- j. Selanjutnya seperti hasil perhitungan dan grafik pada sub bagian berikut ini:

Hasil Perhitungan dan Klasifikasi Jenis Aliran

Berdasarkan hasil perhitungan dan grafik *Performance Aquifer* diperoleh klasifikasi jenis aliran sumur dalam, sehingga selanjutnya dapat ditentukan metode analisis yang hendak dipakai sesuai jenis alirannya. Jenis-jenis alirannya adalah seperti grafik dan hasil perhitungan. Selanjutnya seluruh hasil perhitungan uji akuifer (*Akuifer Test*) dapat ditabelkan seperti pada Tabel 4 berikut ini.

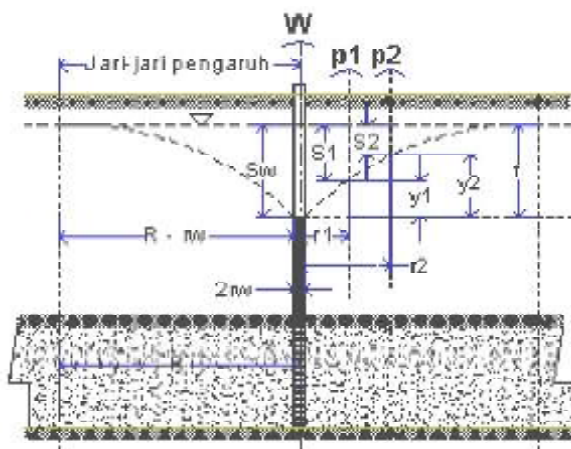
Langkah-langkah Konservasi dalam Pengelolaan Airtanah

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis data terkait dengan langkah-langkah konservasi airtanah adalah dengan mengendalikan eksplorasi airtanah dengan memperhatikan pengaruh pemompaan dan penurunan muka airtanah, salah satunya adalah menentukan jarak minimum antar titik sumur dalam.

Besarnya jarak minimum ditentukan dengan debit dan jari-jari pengaruh pemompaan sumur terdekat yang ada dengan ketentuan bahwa debit yang direncanakan tidak melebihi debit sumur terdekat yang sudah beroperasi. Dengan langkah tersebut diharapkan bahwa perubahan atau penurunan permukaan airtanah akibat pemompaan tidak melebihi titik batas yang seharusnya.

Analisis Hasil

Sesuai dengan latar belakang studi tentang potensi airtanah dan debit optimum sumur yang seharusnya dijadikan acuan dasar dalam pengambilan/eksplorasi airtanah tersebut adalah seperti analisis berikut ini.



Gambar 7. Dasar analisis sumur pantau asumsi

$$\begin{aligned}
 S_w &\Leftrightarrow Q_w \\
 S_1 &\Leftrightarrow Q_w \longrightarrow S_1 = S_w - y_1 \\
 S_2 &\Leftrightarrow Q_w \longrightarrow S_2 = S_w - y_2 \\
 y &= \frac{4fx(L-x)}{L^2} = \frac{4S_w r_n (2R - 2r_w - r_n)}{(2R - 2r_w)^2} \\
 S_n &= S_w - y_n = S_w - \frac{4S_w r_n (2R - 2r_w - r_n)}{(2R - 2r_w)^2}
 \end{aligned}$$

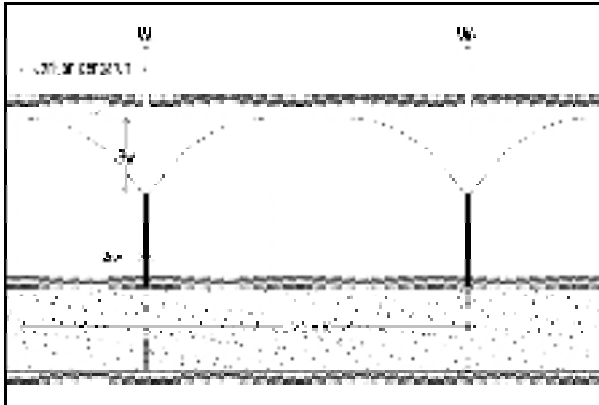
- g. Menentukan jenis akuifer sesuai grafik *performance aquifer* dari sumur bor.
- h. Menetapkan jarak sumur pantau fiktif (r) sebagai dasar acuan perhitungan.

Tabel 4. Hasil analisis uji akuifer (*Aquifer test*)

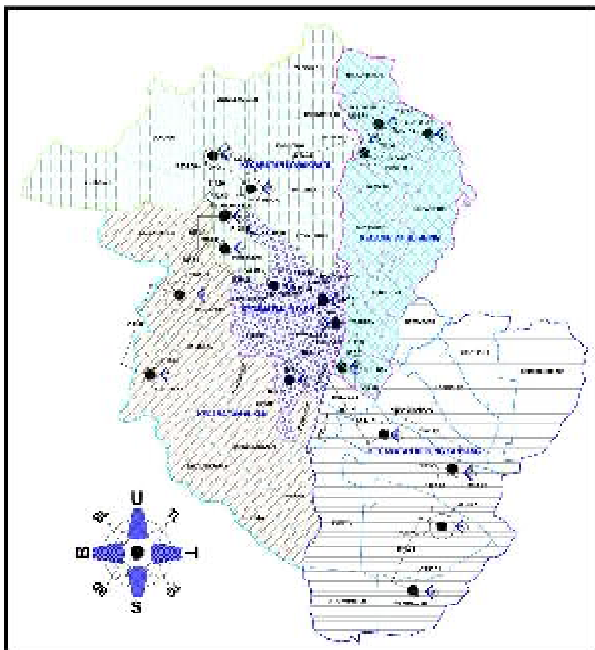
No.	No. Sumur Bor Lokasi	Jenis Aliran	Tipe Akuifer	Metode Analisis	Q_{max} (l/dt) Pompa	Operasi
I. KECAMATAN LOWOKWARU						
1	34 H. Syaiful Bachtiar Jl. Bend. Tengg. Soesi	Steady state	Confined Leaky	Thiem De Glee	1.22	1.58
9	48 Fak. Perlindungan UB Jl. MT. Haryono Mlg	Steady state	Confined Leaky	Thiem De Glee	4.48	3.68
14	20 Univ. Islam Malang J. MT. Haryono 193	Steady state	Confined Leaky	Thiem -	7.98	7.58
15	27 Politek Negeri Mlg J. Soekarno Hala Mlg	Steady state	Confined Leaky	Thiem De Glee	9.11	7.58
II. KECAMATAN KLOJEN						
2	04 SPK Panti Waluyo Sawahan Kasri	Steady state	Confined Leaky	Thiem -	1.68	1.68
6	13 Pasar Besar Mlg Jl. Pasar Besar Mlg	Steady state	Confined Leaky	Thiem De Glee	3.01	3.08
7	40 Hotel Srimajaya Jl. Arie Munandar Klojen	Unsteady state	Confined Leaky	Theis Jacob Walton Hantush Inflection point	3.67	6.08
13	12 SMA St. Yoseph Coland Malang	Steady state	Confined Leaky	Thiem De Glee	7.68	7.08
III. KECAMATAN BLIMBING						
3	10 Rumah Makan KDS J. Gerd. Sukono Jember	Steady state	Confined Leaky	Thiem De Glee	1.68	3.08
4	10 Pabrik Tahu Jl. Sumpil Gg. I	Steady state	Confined Leaky	Thiem De Glee	2.58	3.08
11	20 Flores Samudra PRAJASRI Blimbing	Steady state	Confined Leaky	Thiem De Glee	5.58	5.08
16	38A Pabrik Permen Merry May Jl. Tengg. 7 Blimbing	Steady state	Confined Leaky	Thiem De Glee	11.91	6.08
IV. KECAMATAN KEDUNG KANDANG						
5	01 Dinas Kimpraswil Kedung Kandang	Steady state	Confined Leaky	Thiem -	2.52	3.08
8	25 Tlogowaru Kota Togowaru Kota Malang	Unsteady state	Confined Leaky	Theis Jacob Walton Hantush Inflection point	4.07	3.08
10	47 Perumahan Puncak Buring Kedung Buring	Unsteady state	Confined Leaky	Theis Jacob Walton Hantush Inflection point	5.45	10.08
17	27 Perum Citra Pesona Buring Raya Wonorejo	Steady state	Confined Leaky	Thiem De Glee	12.94	10.08
V. KECAMATAN SURUN						
12	17 PT. Surya Beringin Wilyono 17 Bandan	Steady state	Confined Leaky	Thiem De Glee	6.23	3.08
18	39 Unmer Malang J. Tengg. Raya Deng	Steady state	Confined Leaky	Thiem De Glee	15.84	10.08

Tabel 4. Hasil analisis uji akuifer lanjutan

R (meter)	Asumsi r (meter)	s_w mudak	D (meter)	K mudak	T (m/mg)	S_r (sensitivity)	Drawdown (m)	
							S_p	s
04.12	30.00	0.0508	18.43	1.5335 1.1281	28.2218 26.7747	1.70385 1.37864	0.25	1.45 1.45
192.18	70.00	0.0508	18.00	14.0382 4.3907	150.3765 57.0583	0.0225 0.3711	3.32	1.03 1.03
282.58	140.00	0.0508	36.00	2.0787	57.0577	8.63E-03	12.75	2.02
272.01	120.00	0.0508	36.00	0.5195 0.1782	50.3185 17.4243	4.15E-03 1.41E-01	27.05	6.70 6.70
76.52	30.00	0.0508	36.28	0.7134	35.4479	1.00390	5.62	2.13
157.57	65.00	0.0508	18.00	1.4212 0.4497	26.3523 8.9212	0.0113 0.0215	16.05	4.45 4.45
125.25	71.00	0.0508	22.00	0.6093 0.4392 0.1084 0.0185	17.0514 10.3452 2.3545 0.3121	3.00E-05 3.17E-03 2.03E-04 5.63E-05	10.28	11.11 5.21 10.90 13.20
124.48	125.00	0.0508	16.00	0.6713 1.8282	58.9175 27.4471	1.04E-02 4.15E-03	17.20	3.88 3.35
76.53	40.00	0.0508	9.00	3.6893 1.7304	39.1380 15.3702	4.63E-02 2.23E-02	5.97	0.80 0.80
108.78	60.00	0.0508	6.17	15.0205 11.1291	77.6971 57.3204	5.03E-03 4.32E-03	4.30	1.25 1.25
168.14	87.00	0.0508	35.70	2.1175 0.0508	74.0100 32.0532	1.95E-02 0.04E-03	5.78	2.14 2.14
296.50	127.00	0.0508	57.70	0.2181 2.0795	418.9575 137.5197	3.23E-02 1.01E-02	4.70	1.87 1.67
177.28	85.00	0.0508	30.00	0.1917	10.3132	1.75E-03	32.35	6.00
182.19	102.00	0.0508	30.00	0.0362 0.0792 0.0393 0.0362	6.5595 4.0725 3.9295 5.6135	1.12E-01 0.77E-03 3.93E-05 0.07E-04	11.00 15.81 7.00 4.13	11.00 15.81 7.00 4.13
184.28	110.00	0.0508	30.00	0.1624 0.3670 0.2584 0.0390	18.7467 25.1534 18.7462 52.5521	8.61E-04 4.93E-03 5.65E-05 8.42E-04	21.20	26.00 3.43 2.92 0.34
323.23	150.00	0.0508	79.00	2.2997 0.6193	138.3030 44.5595	1.11E-02 2.97E-03	11.97	3.44 3.44
198.52	80.00	0.0508	34.00	1.2881 0.3393	47.4799 16.0282	1.63E-02 3.83E-03	33.41	6.36 6.36
305.19	100.00	0.0508	77.20	5.7885 1.6785	522.1575 158.3287	3.85E-02 1.12E-02	4.21	1.19 1.19



Gambar 8. Gambar penentuan jarak antar masing-masing sumur



Gambar 9. Peta pengaruh pemompaan debit sumur daerah studi

Berdasarkan peta geohidrologi dan cekungan airtanah (CAT) Jawa Timur digambarkan bahwa kota Malang berada pada cekungan airtanah (CAT) Brantas yang meliputi wilayah kabupaten Nganjuk, Jombang, Mojokerto, Kediri, Sidoarjo, Blitar dan kabupaten Malang, kota Blitar, Kediri dan Kota Malang. Dengan dasar peta geohidrologi dan cekungan airtanah (CAT) Brantas ini dapat disimpulkan bahwa kondisi airtanah pada akuifer tertekan di kota Malang adalah merata dan jika diimplementasikan berdasarkan data sumur bor, hasil perhitungan yang diperoleh dan langkah yang harus diambil terkait **potensi debit airtanah (Qp)**, **debit optimum yang tersedia (Qopt.)** dan **debit pengambilan (operasi) sumur (Qo)** adalah seperti pada Tabel 5 berikut ini.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis data sumur bor hasil studi, kondisi airtanah pada akuifer tertekan di kota Malang memiliki **potensi airtanah (Qp)** antara 1,22 hingga 15,64 ltr/detik atau sebesar 105,41 hingga 1.351,30 m³/hari.

Debit optimum (Qopt.) yang tersedia antara 0,66 hingga 9,03 ltr/detik atau sebesar 57,00 hingga 780,00 m³/hari,

Sedangkan **debit pengambilan** atau **debit operasi sumur** yang terjadi berdasarkan data yang diperoleh (Qo) adalah antara 1,50 hingga 10,00 ltr/dt atau sebesar 129,60 hingga 864,00 m³/hari melebihi debit optimum sumur.

Saran

Debit pengambilan atau debit operasi harus diturunkan hingga lebih kecil atau sama dengan debit optimum sesuai hasil perhitungan agar konservasi airtanahnya tetap terjaga.

Tabel 5. Hasil Uji Pompa (*Well Test* dan *Aquifer Test*) di kota Malang

No.	Lokasi Sumur Bor	Potensi Debit (Qp)		Debit Optimum (Qopt)		Debit operasi (Qo)		Jarak Minimum (m)			Analisis Hasil
		(ltr/dt)	(m ³ /hari)	(ltr/dt)	(m ³ /hari)	(ltr/dt)	(m ³ /hari)	A = 2R	B = Jarak di lap	Status	
I.	KES. LOWOKWARU	1,22 - 3,14	105,41 - 268,14	0,66 - 3,012	57,00 - 250,00	1,50 - 7,50	129,60 - 640,00	544,015	855,870	AMAN	Qo harus turun ≤ Qopt.
II.	KES. KLOJEN	1,50 - 7,68	129,60 - 663,56	0,00 - 5,5	78,00 - 390,00	1,50 - 7,00	129,60 - 604,80	443,877	871,130	AMAN	Qo harus turun ≤ Qopt.
III.	KES. SLIMEING	1,50 - 11,91	129,60 - 1.029,02	0,83 - 5,19	72,00 - 535,00	3,00 - 6,00	259,20 - 518,40	593,791	799,340	AMAN	Qo harus turun ≤ Qopt.
IV.	KES. KD. KANDANG	2,52 - 2,54	217,73 - 1.113,02	1,19 - 5,29	103,00 - 595,00	3,00 - 10,00	259,20 - 864,00	346,463	1.452,260	AMAN	Qo harus turun ≤ Qopt.
V.	KES. SURUN	6,23 - 5,64	538,27 - 1.251,30	2,41 - 9,03	205,00 - 780,00	5,00 - 10,00	432,00 - 864,00	770,188	1.837,540	AMAN	Qo harus turun ≤ Qopt.
TOTAL		1,22 - 15,64	105,41 - 1.351,30	0,66 - 9,03	57,00 - 780,00	1,50 - 10,00	129,60 - 864,00				

Keterangan :

A = 2R, jarak minimum hasil perhitungan (m) diambil nilai terbesar

B = Jarak terdekat antar sumur di lapangan (m) diambil nilai terkecil

R = Jari-jari pengaruh penarikan muka airtanah (skala) pemompaan (m)

Waktu pengambilan airtanah secara terus-menerus tidak boleh melebihi waktu yang diperlukan saat uji pumping test agar penurunan muka air tetap terjaga tidak melebihi hasil *pumping test*.

Untuk menyesuaikan syarat dan langkah analisis sesuai teori yang ada, instansi terkait dalam pelaksanaan pengeboran airtanah dan uji *pumping test* harus bertahap secara teratur dari debit terkecil hingga terbesar hingga diperoleh penurunan muka air yang relatif stabil.

Setiap pekerjaan sumur bor untuk airtanah-dalam harus dibuat pula sumur pantau minimal 1 (satu) buah sebagai kontrol pengaruh penurunan muka airtanah sekitarnya.

Instansi terkait yang memberikan ijin pengeboran harus membuat standar operasional prosedur (SOP) yang bertujuan untuk kelestarian dan kelangsungan ketersediaan airtanah dengan syarat-syarat yang wajib dipenuhi oleh setiap pelaku eksplorasi airtanah.

Langkah-langkah yang harus diambil terkait konservasi airtanah adalah menjaga kelestarian lingkungan dan mengendalikan eksplorasi airtanah dengan tidak berlebihan serta memperhatikan pengaruh pemompaan dan penurunan muka airtanah, salah satunya adalah menentukan jarak minimum antar titik sumur dalam.

Jarak minimum ditentukan oleh debit dan jari-jari pengaruh pemompaan sumur terdekat yang ada dengan ketentuan bahwa debit yang direncanakan tidak melebihi debit sumur terdekat yang sudah beroperasi, sehingga pada lokasi studi masih memungkinkan penambahan sumur akan tetapi kaidah jarak minimum tetap harus diperhatikan.

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 2000. KEPMEN ESDM No. 1451K/10/MEM/2000, Tentang *Pedoman Teknis Penyelenggaraan Tugas Pemerintahan di Bidang Pengelolaan Air Bawah Tanah*, Menteri Energi Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- Bisri, M. 2010. *Airtanah*. Malang: Tirta Media, UB.
- Bruin, J., and Hudson, Jr, H.E. 1961. *Selected Methods for Pumping Test Analysis*. USA: State of Illionis.
- DeFosset, K.L., and Richards, C. J. 2003. *Analysis of Sand and Gravel Aquifer Pump Test*. Okaloosa County, Florida: Wright Landfill.
- Dingman, S.L. 2002. *Physical Hydrology*. 2nd Edition, Upper Saddler River. New Jersey: Prentice Hall.
- Gregg, N. 1996. *Water Resources Management, Principles, Regulation and Cases*. MC Graw Hill.
- Herrera, I. 1970. *Theory of Multiple Leaky Aquifer*, Water Resources Research, vol 6, no. 1.
- Kepmen ESDM No. 1451.K/10/MEM/2000, *Pedoman Teknis Penyelenggaraan Tugas Pemerintahan di Bidang Pengelolaan Air Bawah Tanah*, Kementerian ESDM Republik Indonesia.
- Kodoatie, R.J., Sjarief, R. 2010. *Tata Ruang Air*. Yogyakarta: ANDI Offset.
- Kruseman G.P., de Ridder N.A., Verweij, J.M. 1994. *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data (Second Edition; completely revised)*, ILRI (International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands.
- Kumar, C.P. *Groundwater Data Requirement and Analysis*, National Institute of Hydrology, Roorkee.
- Lee, R. 1986. *Hidrologi Hutan*, S. Subagio, Penerjemah ; S. Prawirohatmodjo, Editor; Yogyakarta, Gadjah Mada University Press, Terjemahan dari Forest Hydrology, 1980, Columbia University Press, New York, 349p.
- Luka, K.F., Weiss, J.L. 2008. *Groundwater Modelling, Management and Contamination*. New York: Nova Science Publishers, Inc.
- Neuman, S.P., and Witherspoon, P.A. 1972. *Field Determination of the Hydraulic Properties of Leaky Multiple Aquifer System*, Water Resources Research vol. 8, No. 5, Department of Civil Engineering, University of California Berkeley, California.
- Qasim, S.R., Motley, E.M., Zhu Guang. 2006. *Water Work Engineering Planing, Design & Operation*. New Delhi: Prentice Hall of India.
- Sekhar, M., Kumar, M., and Sridharan, K. *A Leaky Aquifer Model for Hard Rock Aquifers*, Applied Hydrogeology, Department of Civil Engineering Indian Institute of Science, Bangalore India.
- Sihwanto. 1991. *Parameter Akuifer dan Aliran Airtanah*, Diklatsar Hidrogeologi Kanwil Pertambangan dan Energi, Direktorat Geologi Tata Lingkungan Dirjen Geologi dan Sumberdaya Mineral, Dept. Pertambangan dan Energi Republik Indonesia.
- Sosrodarsono, S., dan Takeda, K. 1976. *Hidrologi untuk Pengairan*. Jakarta: Pradnya Paramitha.
- Terzaghi, K., Peck, R.B., and Mesri, G. 1996. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. 3rd Edition. New York: John Wiley & Sons.
- Todd, D.K. 1995. *Groundwater Hydrology*. Edisi Kedua. Singapore: John Wiley & Sons.
- Watson, I., Burnett, A.D. 1995. *Hydrology An Environmental Approach*. New York: Lewis Publishers.
- Willman, H.B. 1942. *Geology and Mineral Resources of the Marseilles*, Ottawa and Streater Quadrangles, Bull Illionis Geology Survey, No. 66, Hlm. 844.