

**STUDI HIDROGEOLOGI TERHADAP KAPASITAS DEBIT AIR TANAH
MENGUNAKAN METODE *PUMPING TEST* PADA DAERAH BIROMARU
KABUPATEN SIGI**

Formatted: Font color: Auto

Harly Hamad¹ Dwi Mentari Tubagus²

^{1,2}Prodi S1 Teknik Geologi, Fakultas teknik, Universitas Tadulako
Jl. Soekarno-Hatta Km. 9 Palu, Sulawesi Tengah.
Email: h2srw@yahoo.com

Formatted: Font color: Auto

Abstrak

Air tanah merupakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui secara alami, namun waktu pembaharuannya sangat relatif. Dalam memenuhi kebutuhan air tanah pada masyarakat, perlu diupayakan air tanah yang diproduksi dapat secara berkala tersedia. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi akuifer dan kapasitas debit air tanah di Daerah Biromaru tepatnya pada Desa Lolu. Metode pengambilan data yang digunakan adalah metode *pumping test long term test* dan metode analisis yang digunakan adalah metode *curve-fitting Neuman* dan *Theis recovery*. Berdasarkan uji sumur dan uji akuifer serta hasil korelasi litologi maka nilai transmisivitas 180,001 m²/hari, storativitas $3,7 \times 10^{-3}$, specific yield $2,56 \times 10^{-2}$, konduktivitas hidrolis 14,572 m/hari dan permeabilitas 16,488 m/hari. Potensi debit air tanah pada daerah penelitian adalah 226,067 cm³/hari. Debit maximum yang tersedia sebesar 146,88 m³/hari, sedangkan debit air tanah yang telah dieksploitasi dari sumur produksi pada daerah penelitian sebanyak $\geq 363.461,28 \text{ m}^3$ yang telah digunakan selama ± 52 minggu sehingga debit pemompaan tidak melebihi debit potensi air tanah.

Kata Kunci: Airtanah, Biromaru-Sigi, Hidrogeologi, Kapasitas Debit, *Pumping Test*.

Abstract

Groundwater is a natural resource that can be renewed naturally, but the time of renewal is very relative. In meeting the needs of groundwater in the community, it is necessary to strive for groundwater produced can be periodically available. The purpose of this study was to aquifer condition and determine the capacity for groundwater discharge in the Biromaru area, precisely in Lolu Village. The data collection method used is the *pumping test long-term test method* and the analytical method used is the *Neuman curve-fitting method* and *Theis recovery method*. Based on the test and aquifer test results of lithological correlation, value of transmissivity 180,001 m²/day, storativity $3,7 \times 10^{-3}$, specific yield $2,56 \times 10^{-2}$, hydraulic conductivity 14,572, permeability 16,488. The potential for groundwater discharge in the study area is between 226,067 cm³/day. The maximum available discharge is 146.88 m³/day, while the groundwater discharge that has been exploited from production wells in the research area is $\geq 363.461.28 \text{ m}^3$ which has been used for ± 52 weeks so that the pumping discharge does not exceed the potential groundwater discharge.

Keywords: Groundwater, Biromaru-Sigi, Hydrogeology, Discharge Capacity, *Pumping Test*.

1. Pendahuluan

Air tanah adalah air yang terdapat pada lapisan mengandung air (*akuifer*) di bawah permukaan tanah, termasuk mata air yang muncul di permukaan tanah (Zeffitni, 2010). Air tanah merupakan sumberdaya alam yang dapat diperbaharui (*renewable*) secara alami, karena air tanah merupakan bagian yang tidak terpisahkan dalam siklus hidrologi. Meskipun air tanah mempunyai sifat dapat diperbaharui, namun waktu pembaharuan tersebut sangat relatif, tergantung dari kecepatan pengimbuhan (*recharge*) yang berlangsung pada setiap hitungan waktu (Soetrisno, 1995).

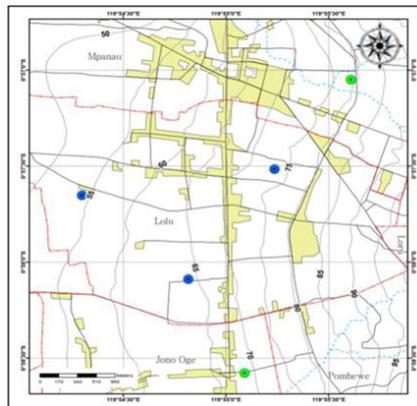
Diketahui pada tiap tahun jumlah penduduk terus meningkat sehingga kebutuhan akan air bersih juga semakin tinggi. Akan tetapi dengan melihat cadangan air tanah yang terbatas dan membutuhkan waktu pembaruan (*recharge*) yang berlangsung cukup lama maka perlu diketahui kapasitas debit air tanah sehingga menjadi batasan dalam pengambilan air tanah agar tidak berlebihan. Dalam memenuhi kebutuhan air tanah pada masyarakat, perlu diupayakan air tanah yang diproduksi dapat secara berkala tersedia. Untuk itu pada eksplorasi air tanah, salah satu hal penting adalah untuk mengetahui karakteristik akuifer.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana kondisi akuifer serta untuk mengetahui kapasitas debit air tanah pada daerah penelitian.

2. Bahan dan Metode

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian secara administrasi terletak pada Kecamatan Biromaru Kabupaten Sigi Provinsi Sulawesi Tengah, terletak di bagian selatan pusat kota Palu yang ditempuh dengan jarak ± 10 km dari Kota Palu.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian skala 1:15.000.

2.2 Kajian Pustaka

2.2.1 Geologi Regional Daerah Penelitian

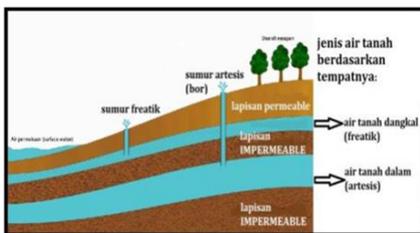
Secara regional daerah penelitian masuk pada Peta Geologi Tinjau Lembar Palu yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi oleh Rab. Sukamto (1993), dimana berdasarkan pada Peta Geologi Lembar Palu tersebut, diketahui formasi litologi daerah penelitian terdiri atas Kompleks Metamorf (Km), Formasi Tinombo (Tts), *Molasa Celebes Sarasin/ (Tmc)*, Alluvium dan Endapan Pantai (*Qal*), dan Batuan Intrusi (Sukamto, R. 1973).

Berdasarkan data tektonisme daerah penelitian menunjukkan pengaruh yang cukup kuat dari pola sesar mendatar mengiri Palu – Koro yang berarah barat laut – tenggara beserta antitetiknya yang berarah barat – timur.

2.2.2 Definisi Airtanah

Menurut Todd (1995), air tanah adalah air yang bergerak di dalam tanah yang terdapat di dalam ruang antar butir-butir tanah yang meresap ke dalam tanah dan bergabung membentuk lapisan tanah yang disebut akuifer. Lapisan yang mudah dilalui oleh air tanah disebut lapisan *permeabel*, sedangkan lapisan yang sulit dilalui air tanah disebut lapisan *impermeabel*.

Airtanah dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu; Airtanah dangkal dan airtanah dalam. Sumber utama air tanah adalah air hujan yang masuk melalui *infiltrasi* ke dalam tanah. Banyaknya air yang meresap juga dipengaruhi oleh kecuraman lereng, kondisi material permukaan tanah dan jenis serta banyaknya vegetasi pada permukaan tanah (Prastistho. dkk, 2018).



Gambar 2. Kondisi keterdapatn airtanah. (Sumber: Plummer dan Geary, 1995)

2.2.3 Daerah Aliran Air Tanah

Cekungan Airtanah biasa disebut CAT merupakan daerah yang berada pada batas hidrogeologi, seluruh aktivitas yang terjadi pada proses hidrogeologi seperti pengimbuhan, pengaliran, dan pelepasan air tanah berlangsung pada daerah aliran air tanah. Terdapat beberapa komponen daerah aliran air tanah (CAT) diantaranya akuifer

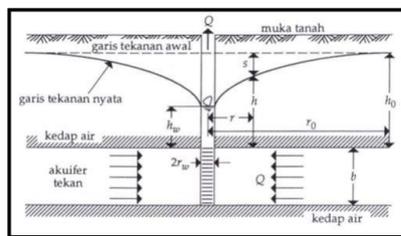
(*aquifer*), akuiklud (*aquiclude*), akuitar (*aquitard*) dan Akuifug (Kodoatie, 2010).

Berdasarkan kondisi susunan litologinya, akuifer dapat dibedakan menjadi 4 macam, yaitu Akuifer Bebas atau Akuifer Tidak Tertekan (*Unconfined Aquifer*), Akuifer Tertekan (*Confined Aquifer*), Akuifer Bocor (*Leaky Aquifer*) dan Akuifer Melayang (*Perched Aquifer*).

2.2.4 Pergerakan Air Tanah

Pergerakan air tanah merupakan kunci untuk mengetahui, mendeteksi dan menentukan banyak atau tidak kandungan air di daerah tersebut. Penyebaran potensi air tanah alami yang baik tidak dapat dijumpai di seluruh tempat (Lubis, 2010).

Besar k (koefisien konduktivitas) tergantung pada jenis tanah, kelembaban tanah dan tegangan tanah.

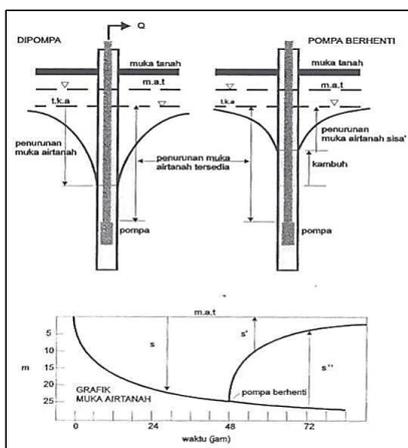


Gambar 3. Kenampakan model aliran air tanah. Sumber: Djoko Luknanto, 1998.

2.2.5 Metode Pumping Test

Pompa uji (*Pumping Test*) dilakukan di suatu sumur untuk mengetahui karakteristik akuifer seperti kemampuan akuifer meloloskan dan menyimpan airtanah, membantu evaluasi potensi air tanah di suatu cekungan, mengetahui terdapatnya pembatas airtanah di bawah permukaan yang mungkin

akan merugikan atau menguntungkan dalam eksploitasi airtanah, mengetahui kemampuan sumur bila dipompa dalam waktu lama (Sudarsono, 1998). Hal yang menjadi inti dari *pumping test* ini adalah perbandingan antara penurunan muka air pada saat *pumping* terhadap kenaikan muka air pada saat *recovery* dalam tenggat waktu yang sama.



Gambar 4. Keadaan sumur bor selama uji pemompaan air tanah. (Sumber: Sudarsono, 1998)

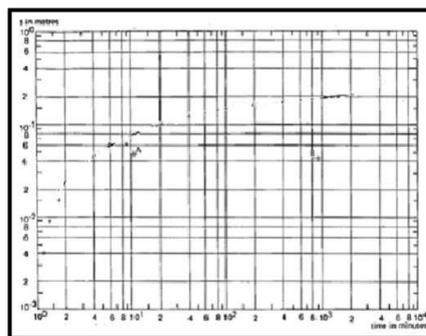
Pumping Test dapat dilakukan dalam beberapa cara, seperti pemompaan uji dengan debit konstan (*long term test*), pompa uji dengan penurunan muka air konstan, pompa uji bertingkat (*step drawdown test*), pompa uji dengan debit atau penurunan muka air tanah bervariasi, pompa uji untuk akuifer ganda, dan pompa uji dengan sumur pengamat (Sudarsono, 1998).

2.2.6 Analisis Drawdown Test

Drawdown test merupakan analisis yang dilakukan untuk mengetahui nilai transmisivitas (T), storativitas (S) dan konduktivitas hidrolik (K). Analisis

drawdown test berdasarkan nilai penurunan muka air tanah (s) terhadap waktu penurunan (t) dengan jenis akuifer bebas, kemudian diolah menggunakan metode *curve-fitting* Neuman (Kruseman dan Ridder, 1994).

Akan tetapi sebelum melakukan pengolahan data *pumping test*, perlu dilakukan identifikasi jenis akuifer. Identifikasi jenis akuifer bertujuan untuk menentukan metode perhitungan yang akan digunakan. Untuk sistem akuifer tidak tertekan (akuifer bebas), metode yang sering digunakan yaitu Kurva Neuman teoritis.

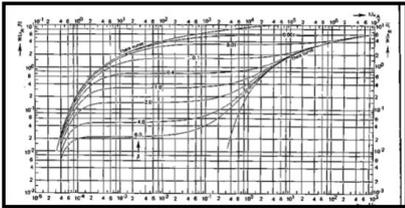


Gambar 6. Kurva Neuman teoritis. (Sumber: Kruseman dan Ridder, 1994)

Tabel 1. Master curve (Kruseman dan Ridder, 1994)

u	1/u	W(u)
0.00001	100000	10.94
0.0001	10000	8.63
0.001	1000	6.33
0.01	100	4.04
0.1	10	1.82
1	1	0.219
2	0.5	0.049
3	0.333333	0.013
4	0.25	0.0038
5	0.2	0.0011
6	0.166667	0.00036
7	0.142857	0.00012
8	0.125	0.000038
9	0.111111	0.00001

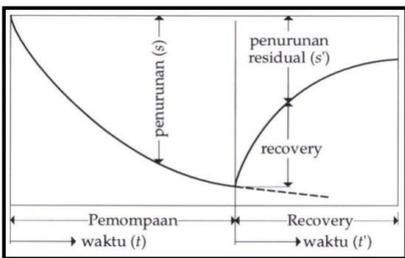
Untuk mendapatkan nilai transmisivitas (T), storativitas (S), dan konduktivitas hidrolis (K), perlu dicari nilai-nilai $W(u, \beta)$, $1/uA$, s (penurunan muka air tanah) dan t/r^2 .



Gambar 7. Curve-fitting Neuman. (Sumber: Kruseman dan Ridder, 1994)

2.2.7 Analisis Recovery Test

Recovery test merupakan analisis yang dilakukan untuk mengetahui nilai transmisivitas (T) dan nilai permeabilitas (k). Analisis Recovery test berdasarkan nilai kenaikan muka air tanah (s) terhadap waktu kenaikan (t), kemudian diolah menggunakan metode Theis recovery.



Gambar 8. Grafik penurunan dan recovery. (Sumber: Djoko Luknanto, 1998)

2.3 Metode

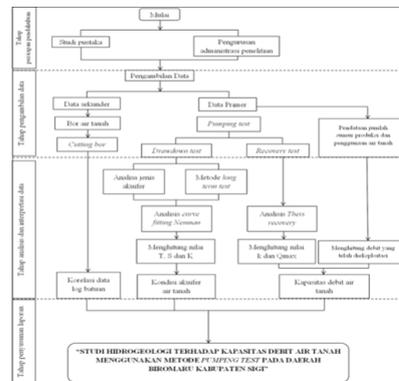
Pada penelitian ini pengujian pemompaan dilakukan dengan pemompaan debit konstan (*long term test*), sehingga proses pompa uji dilaksanakan dengan mengendalikan debit pemompaan konstan selama pompa uji berlangsung. Kemudian untuk lamanya pemompaan tergantung pada keperluan dari

sumur yang akan di uji coba, seperti yang terlihat pada Tabel 1.

Tabel 2. Lama pompa uji untuk berbagai keperluan (Hazel, 1977).

Pemanfaatan Sumur	Lama Pemompaan (Jam)	Lama Kambuh (Jam)
Peternakan & Perumahan	4 - 6	2 - 4
Irigasi	24	6
Perkotaan	100	24
Industri	100	24
Penyelidikan	24	6
Pengujian ulang	2 (uji dinamis)	2

Untuk penelitian ini, sumur yang dilakukan uji coba merupakan sumur yang ditujukan sebagai keperluan perumahan dan juga perkebunan, sehingga membutuhkan waktu selama 4 – 6 jam untuk lama pemompaan dan 2 – 4 jam untuk lama kambuhnya. Kemudian pada tahap selanjutnya yaitu melakukan analisis *drawdown test* dan analisis *recovery test*.



Gambar 5. Bagan Alir Penelitian.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Geologi Daerah Penelitian

Berdasarkan morfometri satuan geomorfologi ini memiliki persentase sudut

lereng 0 – 2%, dan beda tinggi sekitar yang diukur dari kontur tertinggi – kontur rendah 0 - 50 meter di atas permukaan laut. Berdasarkan pendekatan morfografi daerah ini memiliki relief landai dan memiliki titik tinggi 50 mdpl, lembah membentuk penampang berbentuk huruf “U” yang relatif lebar dan luas, dengan tingkat pelapukan sedang - tinggi dengan jenis pelapukan fisika dan biologi. Jenis erosi yang bekerja pada daerah ini berupa erosi lateral. Tidak dijumpai gerakan tanah pada satuan ini. Jenis soil residual dan *transported soil* dengan tebal soil 0,5 m – 1 m yang berwarna coklat kehitaman. Berdasarkan klasifikasi morfometri, morfografi dan morfogenesis menurut Van Zuidam (1985) maka daerah ini termasuk tipe geomorfologi dataran denudasional.

Kemudian secara umum stratigrafi regional daerah penelitian termasuk kedalam kelompok batuan kuarter yang disusun oleh endapan Molasa dan Alluvium berupa kerikil, pasir, lanau sampai lempung. Sedangkan untuk struktur utama pada daerah penelitian merupakan struktur sesar berupa sesar mendatar mengiri Palu-Koro, dijumpai memanjang dengan arah hampir Utara-Selatan yang secara keseluruhan memiliki panjang 250 km.

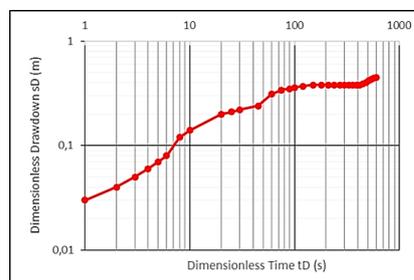
3.2 Hasil Pengolahan Data Pumping Test

Pumping Test (tes pemompaan) yang dilakukan pada penelitian ini adalah *long term test* (pemompaan debit konstan), dimana pompa uji dilaksanakan dengan

mengendalikan debit pemompaan konstan selama pompa uji berlangsung.

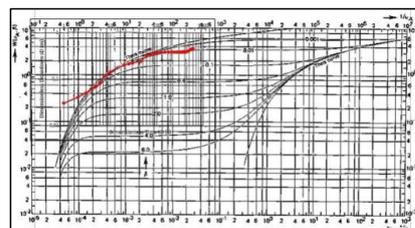
3.2.1 Pumping test well 1

Dari data hasil pemompaan *long term test* pada *well 1*, maka kurva hubungan antara waktu pemompaan (t) dengan penurunan muka air tanah (*drawdown*) dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. kurva hubungan antara waktu pemompaan (t) dengan penurunan muka air tanah (*drawdown*).

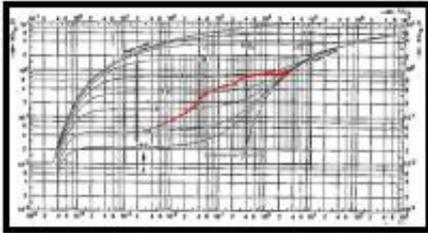
Uji pemompaan dilakukan dengan debit $3.8 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{detik}$ dengan waktu 600 menit. Berdasarkan kurva hubungan antara waktu dan *drawdown* dengan metode yang digunakan berupa *curvefitting Neuman*, maka (Kruseman dan Ridder, 1994):



Gambar 7. Overlay antara kurva lapangan $W(u_A, \beta)$ dan *curve-fitting Neuman*.

Tabel 3. Nilai *ploting curve-fitting Neuman* $W(u_A, \beta)$

β	W	t	s	r (m)	D (m)
0.01	1	1.4×10^{-3}	0.1	35	6.04



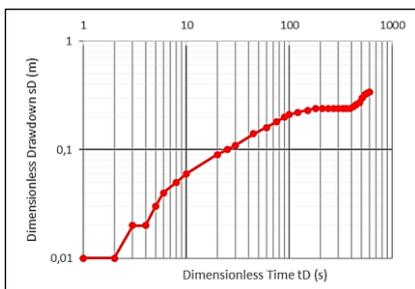
Gambar 8. Overlay antara kurva lapangan $W(u_B, \beta)$ dan *curve-fitting* Neuman

Tabel 4. Nilai *ploting curve-fitting* Neuman $W(u_B, \beta)$

β	W	t	s	r (m)	D (m)
1	1	0.139	0.7	35	6.04

Berdasarkan hasil perhitungan Transmisivitas (T), Storativitas (S) dan Konduktivitas Hidrolik (K), maka nilai Transmisivitas $261,4013 \text{ m}^2/\text{hari}$, Storativitas $1,2 \times 10^{-3}$, Specific yield $1,7 \times 10^{-2}$, Konduktivitas hidrolik $24,7305 \text{ m}/\text{hari}$.

3.2.2 Pumping test well 2

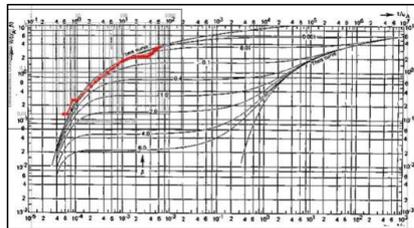


Gambar 9. kurva hubungan antara waktu pemompaan (t) dengan penurunan muka air tanah (*drawdown*)

Dari data hasil pemompaan *long term test* pada well 2, maka kurva hubungan antara waktu pemompaan (t) dengan penurunan

muka air tanah (*drawdown*) dapat dilihat pada Gambar 9.

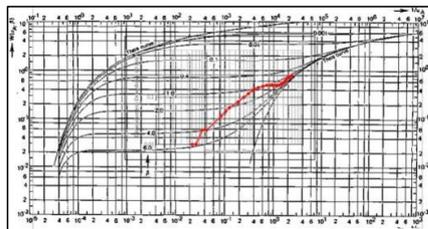
Uji pemompaan dilakukan dengan debit $1.3 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{detik}$ dengan waktu 600 menit. Berdasarkan kurva hubungan antara waktu dan *drawdown* dengan metode yang digunakan berupa *curvefitting* Neuman, maka (Kruseman dan Ridder, 1994):



Gambar 10. Overlay antara kurva lapangan $W(u_A, \beta)$ dan *curve-fitting* Neuman.

Tabel 5. Nilai *ploting curve-fitting* Neuman $W(u_A, \beta)$

β	W	t	s	r (m)	D (m)
0.01	1	4.8×10^{-3}	0.1	22	8.5



Gambar 11. Overlay antara kurva lapangan $W(u_B, \beta)$ dan *curve-fitting* Neuman

Tabel 6. Nilai *ploting curve-fitting* Neuman $W(u_B, \beta)$

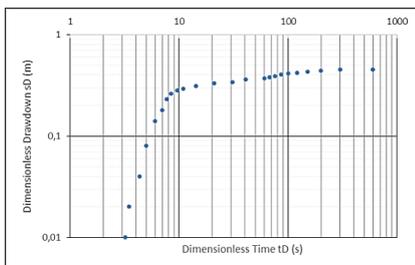
β	W	t	s	r (m)	D (m)
2	1	0.173	0.7	22	8.5

Berdasarkan hasil perhitungan Transmisivitas (T), Storativitas (S) dan Konduktivitas Hidrolik (K), maka nilai

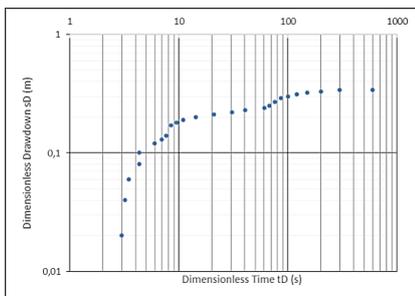
Transmisivitas $189,1720\text{m}^2/\text{hari}$, Storativitas $7,6 \times 10^{-3}$, Specific yield $3,9 \times 10^{-2}$, Konduktivitas hidrolik $12,7174 \text{ m/hari}$.

3.3 Hasil Pengolahan Data Recovery Test

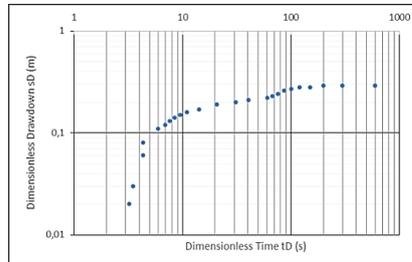
Setelah pemompaan dihentikan, dengan segera dilakukan pencatatan waktu pemulihan muka air tanah kembali ke posisi semula. Data yang dicatat meliputi interval waktu tertentu dan kenaikan muka air tanah (s'). Data tersebut selanjutnya dianalisis menggunakan metode *Theis Recovery*.



Gambar 12. Kurva hubungan antara waktu pemompaan (t) dengan kenaikan muka air tanah pada well 1.



Gambar 13. Kurva hubungan antara waktu pemompaan (t) dengan kenaikan muka air tanah pada well 2.



Gambar 14. Kurva hubungan antara waktu pemompaan (t) dengan kenaikan muka air tanah pada well 3.

Analisis dengan menggunakan metode *Theis Recovery* yaitu data diplot pada kertas grafik semi-log untuk mendapatkan nilai T (transmisivitas) dan nilai k (permeabilitas) sehingga dapat menghitung nilai debit maksimum.

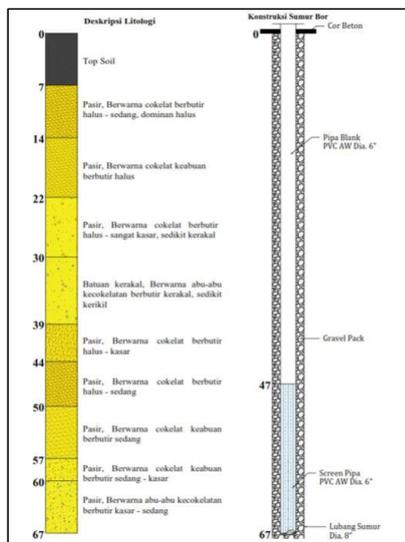
Berdasarkan perhitungan transmisivitas (T) dan permeabilitas (k) maka debit maksimum sumur yang berada pada lokasi penelitian berkisar $112.3200 \text{ m}^3/\text{hari}$.

3.4 Analisis Data Cutting Bor

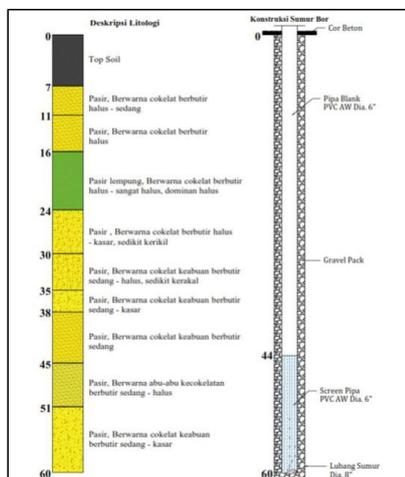
Pelaksanaan pemboran terdiri dari dua titik bor yaitu pada Desa Mpanau dan Desa Jono Oge. Pemboran ini dilakukan sampai kedalaman 67 meter pada Desa Mpanau dan 60 meter pada Desa Jono Oge.

Hasil yang diharapkan pada pemboran ini adalah untuk memperoleh urutan-urutan lapisan batuan berdasarkan data cutting pemboran. Penentuan lapisan akuifer dengan cara menyusun litologi batuan pada sumur bor berdasarkan hasil cutting bor yang didapatkan dari pengangkatan batuan ke atas permukaan. Cutting bor yang diperoleh dikelompokkan menurut variasi ukuran butir batuan. Berdasarkan hasil data cutting

pemboran, interpretasi data logging pada sumur bor desa Mpanau dan desa Jono Oge dapat dikonstruksikan sebagai berikut:



Gambar 15. Penampang konstruksi sumur bor Desa Mpanau. Sumber: CV. Karya Metro Politan.



Gambar 16. Penampang konstruksi sumur bor Desa Jono Oge. Sumber: CV. Karya Metro Politan.

Berdasarkan analisis data *pumping test*

dan rekonstruksi litologi, maka keterdapatannya air tanah pada lokasi penelitian yaitu terdapat pada kedalaman 55 – 75 meter, dengan jenis lapisan yang dapat bertindak sebagai lapisan pembawa air berupa batupasir.

3.5 Data Penggunaan Air Tanah

Daerah penelitian terletak pada Desa Lolu, merupakan salah satu Desa yang berada pada Kecamatan Sigi Biromaru Kabupaten Sigi. Desa Lolu menempati luas wilayah sebesar 5.685 km² dari 289.6 km² total luas wilayah Kecamatan Sigi Biromaru.

Pemanfaatan air tanah pada penelitian ini digunakan sebagai kegiatan pertanian yang diperoleh dengan membuat sumur bor air tanah. Untuk membuat sumur bor, masyarakat setempat masih menggunakan peralatan seadanya.

Sekitar 25% dari luas daerah penelitian merupakan lahan perkebunan dan memiliki 53 sumur produksi. Dalam beberapa petak lahan biasanya dibutuhkan 1 sampai 3 sumur. Lahan yang belum ditanami atau yang akan ditanami membutuhkan waktu sekitar 24 jam dalam satu kali pengaliran. Sedangkan kebun yang sudah ditanami membutuhkan waktu lebih dari 6 jam dalam satu kali pengaliran dan dialiri setiap 2 kali dalam seminggu.

Tabel 7. Penggunaan air tanah pada sumur pengambilan data.

S T	m ³ /menit	1 kali pemakaiannya	1 minggu pemakaiannya
1	0.228	95.76	191.52
2	0.078	32.76	65.52
3	0.165	69.30	138.60
Σ	0.157	65.94	131.88

Berdasarkan data-data diatas maka, setiap sumur membutuhkan 0.157 m³/menit. 53 sumur membutuhkan 8.3210 m³/menit. Persatu kali pemakain (420 menit) membutuhkan 3.494,8200 m³/menit. Satu minggu sumur digunakan sebanyak 2 kali pemakaian. Rata-rata sumur telah digunakan sebanyak 52 minggu.

Jadi, debit air tanah yang telah diproduksi atau dieksploitasi dari 53 sumur produksi pada daerah penelitian sebanyak $\geq 363.461,2800$ m³ yang telah digunakan selama ± 52 minggu untuk mengalir $\pm 1,42$ km² luas lahan perkebunan yang ada pada Desa Lolu.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian studi hidrogeologi terhadap kapasitas debit

airtanah menggunakan metode pumping test maka dapat disimpulkan bahwa, keterdapatn air tanah pada daerah penelitian yaitu pada kedalaman $\pm 55 - 75$ meter, dengan jenis lapisan yang dapat bertindak sebagai akuifer yaitu berupa batu pasir. Kemudian berdasarkan hasil uji pemompaan, diketahui kondisi akuifer pada daerah penelitian memiliki nilai transmisivitas (T) 180,0010 m²/hari, storativitas $3,7 \times 10^{-3}$, specific yield $2,56 \times 10^{-2}$, konduktivitas hidrolik (K) 14,5727 m/hari dan permeabilitas (k) 16,4883 m/hari.

Maka berdasarkan Sumur yang masih aktif berproduksi, dapat diketahui bahwa debit air tanah yang telah dieksploitasi pada daerah penelitian sebanyak $\geq 363.461,2800$ m³, dan telah digunakan selama ± 52 minggu untuk mengalir lahan perkebunan yang ada di Desa Lolu dengan luas $\pm 1,42$ km². Nilai potensi debit air tanah pada daerah penelitian sebesar 226.0670 m³/hari dan nilai debit maximum 112.3200 m³/hari.

Daftar Pustaka

- Hazel, C.P., 1975, *Groundwater Hydraulics*, lectures presented to the Australian Water Resources Council's Groundwater School, Adelaide, Australia.
- Kodoatie, Robert J., dan Roestam, Sjarief. 2010. *Tata Ruang Air*. Yogyakarta: Andi.
- Kruseman, G. P. and N. A. de Ridder, 1991. *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data*, 2nd Edition. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands, 377 pp.
- Lubis, Rachma Fajar. (2010). *Menentukan Sumber Air Tanah dengan Akurat*.
- Luknanto. D., 1998. *Pelatihan Regional Drainase, Filtrase dan Geoteknik*. Aliran air dalam media Porus.
- Plummer, Charles, and David Mc, Geary. 1995. *Physical Geology*. OWA New York: Wm. C. Brown Publisher.

- Prastitho, B. dan Tim., 2018, Hubungan Struktur Geologi dengan Sistem Air Tanah., UPN "Veteran" Yogyakarta
- Soetrisno, S. 1995. Air tanah dan Permasalahannya. *Proseding Makalah Kursus Singkat Pengelolaan Air tanah Angkatan I Yogyakarta*, 6-15 Juli 1994. UGM. Yogyakarta.
- Sudarsono, Untung, (1998). *Prosedur Pompa Uji*, Buletin Geologi Tata Lingkungan (Bulletin of Environmental Geology) , No. 23, Juni 1998 pp. 40-54.
- Sukamto, R.: (1973). Peta Geologi Tinjau Lembar Palu, Sulawesi, 1:250.000. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Todd, D.K., et al. 2005. *Groundwater Hydrology, Third Edition*. NewYork: John Wiley & Sons.
- Zeffitni. 2010. Agihan Keruangan Potensi Air tanah di Cekungan Air tanah Palu Provinsi Sulawesi Tengah. *Disertasi*. Fakultas Geografi. UGM. Yogyakarta.