



Analisis Potensi Debit Air Tanah Melalui Pumping Test Metode Step Draw Down pada Sumur Bor Irigasi di Desa Bonto Rannu, Kecamatan Kajang, Kabupaten Bulukumba, Sulawesi Selatan

Agussalim^{1*}, Muliana Djafar², dan Andi Syam Rizal³

¹*Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Muslim Maros*

²*Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian, Peternakan, dan Kehutanan, Universitas Muslim Maros*

³*Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar*

Email: agussalim@umma.ac.id

*Corresponding Author

Abstrak

Persawahan di Desa Bonto Rannu, Kecamatan Kajang, Kabupaten Bulukumba didominasi oleh sawah tadah hujan. Daerah ini memiliki keterbatasan pada musim kemarau karena irigasi/irigasi pertanian sepenuhnya bergantung pada air hujan. Oleh karena itu, perlu dilakukan identifikasi sumber irigasi alternatif untuk keberlangsungan kegiatan pertanian di Desa Bonto Rannu. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kuantitas air tanah sumur dengan pengujian berupa uji pompa (*pumping test*) dengan metode *step draw down*. Debit optimum (Q_{opt}) sumur 1 sebesar $0,01876 \text{ m}^3/\text{s}$ atau $67,53 \text{ m}^3/\text{jam}$ dengan Sw optimum sebesar $2,891 \text{ m}$. Hal ini menunjukkan air tanah pada sumur 1 dapat dipompa sebesar $67,53 \text{ m}^3/\text{jam}$ dengan penurunan muka air sebesar $2,891 \text{ m}$ dengan kondisi pompa secara teknis masih aman. Sedangkan untuk sumur 2 debit optimum (Q_{opt}) sebesar $0.00318 \text{ m}^3/\text{s}$ atau $11.45 \text{ m}^3/\text{jam}$ dengan Sw optimum sebesar 2.100 m . Data ini menunjukkan bahwa cadangan air tanah terbatas.

Kata kunci: Air Tanah, Irigasi, Sumur, Uji Pompa.

Abstract

The rice fields in Bonto Rannu Village, Kajang District, Bulukumba Regency are dominated by rainfed rice fields. This species has limitations in the dry season because irrigation/agricultural irrigation completely depends on rainwater. Therefore, it is necessary to identify alternative irrigation sources to sustain farmers' farming activities in Bonto Rannu Village. This study aims to analyze the number of groundwater wells by testing in the form of a pump test (pumping test) with the step draw-down method. The optimum discharge (Q_{opt}) of well 1 is $0.01876 \text{ m}^3/\text{s}$ or $67.53 \text{ m}^3/\text{hour}$ with an optimum Sw of 2.891 m . This shows that groundwater in well one can be pumped at $67.53 \text{ m}^3/\text{hour}$ with a decreased water level of 2.891 m , with the pump condition still technically safe. As for well 2, the optimum discharge (Q_{opt}) is $0.00318 \text{ m}^3/\text{s}$ or $11.45 \text{ m}^3/\text{hour}$ with an optimum Sw of 2.100 m . These data indicate that there are limited groundwater reserves.

Keywords: Groundwater, Irrigation, Pumping Test, Well.

Info Artikel

Status artikel:

Diterima: 14 Oktober 2022

Disetujui: 31 Desember 2022

Tersedia online: 31 Desember 2022

1. PENDAHULUAN

Persawahan di Desa Bonto Rannu Kecamatan Kajang Kabupaten Bulukumba didominasi oleh sawah tadah hujan. Jenis ini memiliki keterbatasan pada musim kemarau karena pengairan/irigasi pertanian sepenuhnya tergantung pada air hujan. Oleh karena itu, perlu mengidentifikasi sumber irigasi alternatif demi keberlangsungan kegiatan bercocok tanam petani di Desa Bonto Rannu.

Berdasarkan peta geologi, kondisi geologi Desa Bonto Rannu terdiri dari Formasi Walanae (Tm_{pw}), batu pasir, konglomerat, tuf, batu lanau, batu lempung, batu gamping, dan napal. Umur relatif formasi dan batuan yang terkandung di Formasi Tm_{pw} berada pada periode miseon. Penelitian terhadap potensi air tanah pada daerah tersebut telah dilakukan oleh pengusul pada tahun 2021 dengan mengaplikasikan metode geolistrik tipe Schlumberger. Potensi air tanah yang diperoleh dari hasil penelitian menunjukkan bahwa pada daerah penelitian terdapat akuifer dangkal pada lintasan 1 (kedalaman 12-22 m) dan akuifer dalam (kedalaman 13-25 m) pada lintasan 2 [1].

Kawasan pertanian khususnya penghasil beras dan palawija membutuhkan air irigasi dalam jumlah yang besar. Terutama tanaman padi membutuhkan air empat kali dari jumlah air untuk tanaman palawija. Persawahan di Desa Bonto Rannu menghasilkan tanaman padi sehingga kapasitas air irigasi sangat berperan penting [2]. Potensi air tanah yang telah diteliti pada daerah ini menjadi sumber air irigasi alternatif yang menjanjikan sehingga perlu diadakan penelitian lanjutan untuk melakukan konservasi air tanah dan mengukur kapasitas air tanah yang cocok untuk daerah pertanian.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kuantitas dari sumur air tanah dengan melakukan pengujian berupa uji pompa (*pumping test*) dengan metode *step draw down*. Penelitian ini layak dilakukan karena mendukung *sustainability of green economy*. Konservasi air tanah untuk irigasi membantu peningkatan produksi hasil pertanian dalam jangka panjang dan berkelanjutan.

Uji Pompa (*Pumping Test*)

Pumping test dapat menguji debit air tanah dan mengidentifikasi kemampuan sumur bor dalam menghasilkan air tanah. Selain itu, uji ini digunakan untuk meneliti tingkat kelulusan akuifer. Pumping test memompa air tanah dari suatu sumur bor dengan debit tertentu dengan mengamati penurunan muka airtanah selama pemompaan berlangsung dan mengamati pemulihan kembali muka air setelah pompa dimatikan sesuai dengan selang waktu tertentu. Uji pompa dapat dibagi menjadi dua yaitu pengujian sumur dan pengujian akuifer [3].

Pengujian akuifer (*Aquifer Test*)

Pengujian akuifer ini dikenal sebagai metode *long-term* yang dilaksanakan dengan pengujian debit tetap. Uji pemompaan debit konstan atau sering disebut sebagai uji pemompaan menerus hakekatnya adalah untuk menguji kemampuan Akuifer (*Aquifer Performance Test*) yaitu untuk menentukan besarnya nilai Koefisien Keterusan Air / nilai Transmisivitas (T) [4], [5].

Pengujian Sumur (Well test)

Salah satu uji pemompaan atau pumping test adalah pengujian sumur (*well test*). Pengujian ini dilaksanakan dengan debit pemompaan yang berubah pada setiap tingkatan dalam kurun waktu tertentu. Uji pemompaan debit bertingkat dengan debit ditambah dilakukan dengan memperbesar debit pemompaan pada setiap tahapan [4], [6]. Pengujian sumur bertujuan untuk menentukan kapasitas sumur. Melalui pengukuran debit (Q) dan penurunan muka air (S) akan diperoleh kapasitas jenis sumur (*specific discharge*) yang menunjukkan kemampuan sumur memproduksi air. Metode *step draw down* merupakan metode pemompaan yang sering digunakan dengan melakukan pemompaan secara terus menerus dengan perubahan debit secara bertahap. Uji pemompaan dilakukan untuk mengukur jumlah air dari suatu akuifer. Ada tiga tahapan pengujian pemompaan yang dilakukan, yaitu *stepdrawdown*, *constant rate* dan *recovery test*. Uji *step-drawdown* dilakukan untuk mengetahui karakteristik keluaran sumur tabung seperti kehilangan dan efisiensi sumur melalui serangkaian uji laju pemompaan konstan. Uji laju pemompaan konstan dimaksudkan untuk memperkirakan sifat akuifer dengan mempertahankan keluaran akuifer. Uji pemulihan dilakukan untuk mengukur laju kenaikan muka air setelah uji pemompaan konstan dihentikan. Jacob mengemukakan bahwa total penurunan muka air pada sumur dapat dinyatakan sebagai jumlah *drawdown* karena aliran laminar (BQ) dan *drawdown* karena turbulensi sumur (CQ²). Model ini diterapkan untuk interpretasi uji *step-drawdown* dalam penelitian ini.

Menurut Jacob, drawdown pada sumur pemompaan dapat didefinisikan sebagai:

$$S_w = BQ + CQ^2 \quad (1)$$

di mana : B = koefisien *aquifer loss* (dt/m²) C = koefisien *well loss* (dt²/m⁵) CQ² = kehilangan tinggi tekan pada sumur (m) BQ = kehilangan tinggi tekan pada akuifer (m) S_w = total penurunan muka air (m) [4], [7].

Besarnya nilai Efisiensi Pemompaan (E_p) [8] dinyatakan dalam persamaan 2 sebagai berikut:

$$E_p = BQ / S_w \times 100 \% \quad (2)$$

Efisiensi (E_p) dianggap sebagai rasio kehilangan muka air karena aliran laminar (BQ) dengan total penurunan muka air karena aliran laminar dan turbulen (S_w). Nilai E_w 70% telah dianggap memuaskan oleh Kresic dan telah ditunjukkan dalam desain yang tepat dan dikembangkan dengan baik. Ketika $E_p=100\%$, istilah *well loss* telah mengidentifikasi nilai-nilai sebagai $CQ^2 = nol$. Kapasitas jenis sumur (S_c) adalah jumlah air yang dapat diproduksi setiap penarikan di sumur. Kuantitas air dianggap sebagai kapasitas spesifik (S_c), dan dihitung per unit penarikan di dalam sumur. Hasil per penarikan unit telah diwakili hanya dengan itu [9]. Hal ini ditandai dengan tingkat pemompaan yang stabil dan terbentuk saat pengisian kembali menyeimbangkan debit. Parameternya dihitung sebagai berikut:

$$S_c = Q/S_w \quad (3) \quad [10]$$

Sumur akan disebut efisien apabila nilai E_p -nya minimal 50%; Efisiensi sumur sebagian besar dipengaruhi oleh parameter studi, terutama koefisien kehilangan sumur, parameter hidrolik dan juga desain sumur [11]. Sedang faktor *Well Development* dinyatakan dalam rumus:

$$F_d = C / B \times 100 \quad (4)$$

Menurut Walton dan Bierschenk, sumur produktif bila sumur mempunyai harga C dan F_d (Faktor development) yang kecil [3], [4]. Debit optimum pemompaan berarti air sumur dapat diambil sebanyak-banyaknya, tetapi posisi pompa masih dalam batas aman secara teknik [12]. Debit optimum pompa adalah besarnya debit air yang diambil / dipompa dengan menghitung nilai Q maksimum dan S_w maksimum. $S_{w_{maks}} = B Q_{maks} + C Q_{maks}^2$ $Q_{maks} = 2\pi.rw.D \sqrt{K/15}$. Kemudian Q_{maks} dan $S_{w_{maks}}$ diplotkan pada grafis penurunan dengan garis linier sehingga antara garis persinggungan tersebut diperoleh nilai $Q_{optimum}$ dan S_w optimum [4], [13].

Metode Step Draw Down

Pumping test dengan metode *strap dawn down* ini diperoleh dari respon terhadap kenaikan maupun penurunan air tanah saat dilakukan pemompaan dengan melalui beberapa tingkatan debit keluaran. Metode ini dimulai dengan pengukuran posisi permukaan air untuk berbagai tingkatan debit keluaran dalam rentang waktu tertentu. Parameter yang diukur pada metoda ini adalah waktu pemompaan, debit pemompaan dan kedudukan muka air tanah selama pemompaan berlangsung [5],[11],[14].

Salah satu tujuan utama dari uji *step-drawdown* adalah untuk memperkirakan efisiensi sumur dalam situasi lapangan yang sebenarnya. Metode ini mengukur kriteria kinerja sumur, seperti koefisien *well-loss* dan efisiensi sumur, dan memberikan perkiraan hasil maksimum (laju pemompaan optimal) di bawah berbagai kondisi ketinggian air. Dibandingkan dengan tes pemompaan lainnya, tahapan metode ini cenderung singkat, relatif sederhana dan murah. Dalam metode *step draw down*, laju abstraksi dari sumur ditingkatkan dalam beberapa langkah (minimal tiga). Prosesnya terdiri dari pemompaan sumur secara bertahap dengan penambahan debit (Q), dan kemudian mengukur perubahantransien ketinggian air (*drawdown*) pada setiap langkah sampai penarikan stabil. Langkah- langkah

pengujian harus memiliki durasi yang cukup untuk memungkinkan penarikan dalam sumur pemompaan menjadi stabil, biasanya sekitar 30 menit sampai 2 jam per langkah. Ketinggian air menurun (yaitu, penarikan meningkat) dengan setiap peningkatan bertahap dalam laju pemompaan Q . Analisis data uji *step-drawdown* membantu untuk mengukur komponen-komponen *well-loss* dan *aquifer-loss* dan untuk menentukan proporsi aliran laminar versus turbulen ke dalam sumur [10].

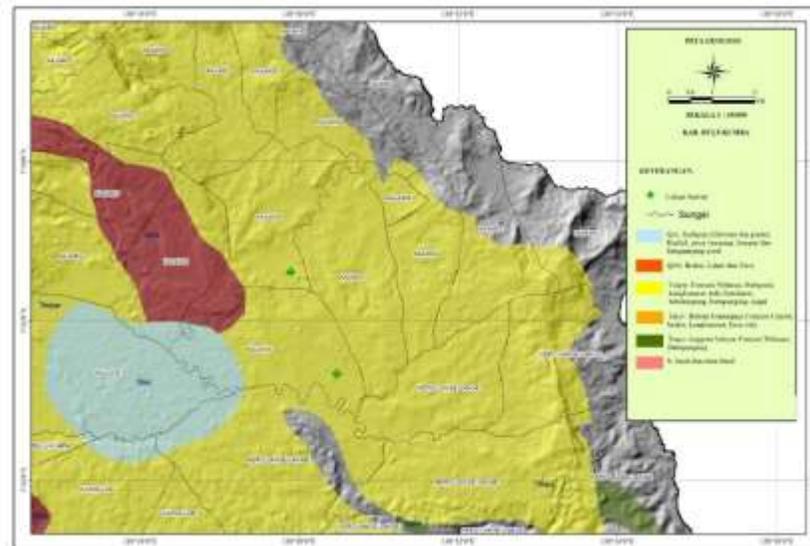
Pengujian *step draw down* dilaksanakan melalui beberapa besaran debit secara bertingkat dan berturutan dengan masa pemompaan untuk setiap step dilaksanakan selama rentang waktu tertentu secara terus menerus. Kemudian pengukuran muka air sumur (S_w) dilakukan untuk setiap besaran debit yang diukur. Hubungan waktu dengan penurunan muka air sumur pada skala log-normal diplot pada grafik untuk memperoleh nilai S_w/Q untuk setiap tingkat. Hubungan nilai S_w/Q dengan debit (Q) disajikan dalam grafik dan diinterpretasi untuk mendapatkan nilai Koefisien *Aquifer Loss* (B) dan Koefisien *Well Loss* (C) [15]. Selanjutnya dengan menggunakan parameter tersebut maka nilai *Well Loss* (CQ^2), *Aquifer Loss* (BQ), Efisiensi Pemompaan (E_p) dan Faktor *Development* (F_d) dapat dihitung [14].

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan cara memompa air sumur dengan metode *step draw down*. Metode ini dilakukan dengan debit bertahap dan mengukur penurunan permukaan air untuk masing-masing tahapan debit. Pada sumur bor, dipasang pompa berkekuatan besar sekitar $10 \text{ m}^3/\text{jam}$. Air yang dikeluarkan dari sumur dengan menggunakan pompa ini kemudian dialirkan ke tempat yang jauh dari sumur pengamatan agar tidak merembesa masuk ke akuifer yang sedang diteliti. Pompa dihidupkan terus-menerus walaupun debit air yang dikeluarkan bervariasi. Untuk masing-masing debit air (Q), kemudian dicatat penurunan muka air (S_w) secara berkala. Grafik hubungan Q dan S_w dibuat untuk menentukan Q optimum dan S_w optimum. Parameter ini menunjukkan debit optimum dan *drowdown* optimum dari sumur bor tersebut. Proses akuisi data dilakukan dengan merangkai alat *pumping test* termasuk pompa, pengukur debit air, water level, stopwatch, dan rangkaian pipa sesuai dengan kebutuhan penelitian. Hasil dari proses ini kemudian diperoleh data debit dan penurunan muka air yang kemudian dicatat dan diolah serta disajikan dalam grafik dengan menggunakan Ms. Excel. Tahap akhir penelitian adalah interpretasi grafik dari data hasil pengamatan Q dan S_w untuk menentukan Q optimum dan S_w optimum dari sumur bor.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi penelitian terletak pada desa Bonto Rannu, Kecamatan Kajang, Kabupaten Bulukumba yang tersusun atas Formasi Walanae (Tm_{pw}), batu pasir, konglomerat, tufa, batulempung, batu gamping dan napal. Hasil interpretasi data resistivitas menggunakan metode resistivitas tipe Schlumberger menunjukkan terdapat potensi akuifer yang mengandung air tanah. Lapisan akuifer pada lintasan 1 merupakan akuifer dangkal (kedalaman 12-22 m) dan untuk lintasan 2 terdapat akuifer dalam (kedalaman 13-25 m) [1].



Gambar 1. Peta geologi lokasi penelitian.

Konservasi air tanah dilakukan dengan membuat sumur bor pada titik tertentu berdasarkan hasil uji potensi air tanah. Terdapat dua sumur bor, di mana untuk lintasan 1 (sumur 1) terdapat pada 35 m dari titik 0 lintasan dan untuk lintasan 2 (sumur 2) pada 58 m dari titik 0 lintasan. Setiap sumur bor dipasang pompa jet untuk mengukur debit air optimum dengan menggunakan ambang pengukur yang berbentuk segitiga 60° . Metode *step draw down* digunakan untuk mengukur kuantitas air tanah dari suatu sumur. Koordinat lokasi penelitian yaitu sumur 1 terdapat pada $1^\circ37'74''S$, $120^\circ34'17''E$ sedangkan untuk sumur 2 terdapat pada $5^\circ21'23,3''S$, $120^\circ19'53,3''E$.



Gambar 2. Citra satelit lokasi penelitian.

Debit pemompaan dilakukan dalam lima tahapan dan pencatatan dilakukan selama selang waktu 15 menit di mana setiap tahapan terdiri dari lima kali pencatatan. Sehingga setiap tahapan terdiri dari 75 menit. Analisis data debit pemompaan dan penurunan permukaan air tanah dilakukan setelah proses pemompaan sumur telah dilakukan [16].

3.1 Analisis Uji Sumur 1

Data hasil penelitian dengan metode *step drawdown* ditunjukkan pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Data rekap hasil uji sumur dengan Metode *Step drawdown*.

Tahapan	Jam	Sw (m)	h (cm)	Q	
				(liter/detik)	(m ³ /detik)
1	08.30	8,8	7,45	1,92	0,00192
2	09.45	12,7	8,2	2,35	0,00235
3	11.00	15,22	8,8	2,78	0,00278
4	12.15	17,2	9,32	3,12	0,00312
5	13.30	21	9,5	3,4	0,0034

Tabel 1 menunjukkan rekap data uji sumur dengan metode *step drawdown* di mana Sw adalah penurunan muka air tanah dalam sumur setelah uji pompa. Sedangkan untuk h adalah ketinggian air pada bak penampung dan Q merupakan debit pemompaan selama selang waktu setiap tahapan.

Metode *step drawdown* menggunakan dan mengolah data Sw (penurunan muka air tanah) terhadap waktu penurunan (t) dengan jenis akuifer bebas kemudian diolah dengan kurva Neuman [16]. Dengan menggunakan regresi linear, perhitungan susut sumur ditunjukkan oleh tabel 2 berikut.

Tabel 2. Perhitungan susut sumur.

Tahapan	Q (m ³ /s)	Sw (m)	Sw/Q (s/m ²)
1	0,00192	7,45	3880,21
2	0,00235	8,2	3489,36
3	0,00278	8,8	3165,47
4	0,00312	9,32	2987,18
5	0,0034	9,5	2794,12

3.2 Analisis Uji Sumur 2

Data hasil penelitian sumur 2 dengan metode *step draw down* ditunjukkan pada tabel 3 berikut.

Tabel 3. Data rekapan hasil uji sumur dengan Metode *Stepdrawdown*.

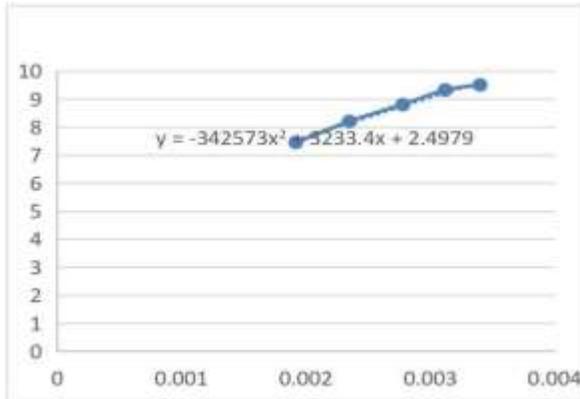
Tahapan	Jam	Sw (m)	h (cm)	Q	
				(liter/detik)	(m ³ /detik)
1	08.30	7,25	3,5	1,25	0,00125
2	09.45	8,97	4,2	1,82	0,00182
3	11.00	10,25	4,7	2,5	0,0025
4	12.15	12	5,4	2,84	0,00284
5	13.30	14,1	6,1	3,78	0,00378

Tabel 3 menunjukkan rekap data uji sumur dengan metode step drawdown di mana Sw adalah penurunan muka air tanah dalam sumur setelah uji pompa. Sedangkan untuk h adalah ketinggian air pada bak penampung dan Q merupakan debit pemompaan selama selang waktu setiap tahapan. Tabel 4 berikut menunjukkan perhitungan dengan persamaan susut sumur dengan regresi linier pada sumur 2.

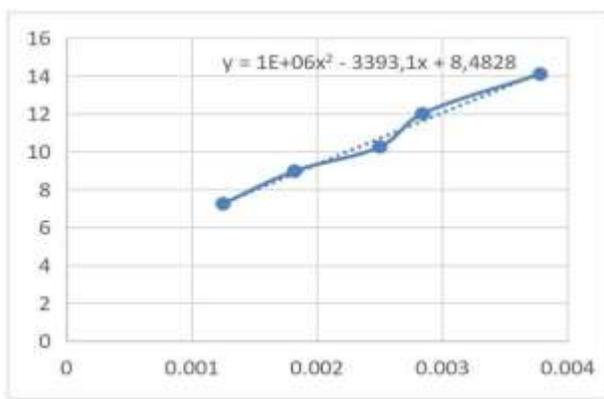
Tabel 4. Perhitungan susut sumur.

Tahapan	Q (m ³ /s)	Sw (m)	Sw/Q (s/m ²)
1	0,00125	7,25	5800,00
2	0,00182	8,97	4928,57
3	0,0025	10,25	4100,00
4	0,00284	12	4225,35
5	0,00378	14,1	3730,16

Berdasarkan data metode *step draw down* diperoleh persamaan regresi kuadratis untuk sumur 1 yaitu $y = -342573x^2 + 3233,4x + 2,4979$ dan untuk sumur 2 yaitu $y = 1E+06x^2 - 3393,1x + 8,4828$. Dari kedua persamaan tersebut dapat dihitung Q_{max} dari nilai Sw_{max}. Untuk sumur pertama, Q_{max} sebesar 0,03981 m³/s dan untuk sumur kedua diperoleh 0,02986 m³/s. Grafik pada gambar 3 dan 4 berikut menunjukkan hubungan Q dan Sw dalam menentukan Q optimum dan Sw optimum dari sumur bor.



Gambar 3. Uji Stepdrawdown untuk sumur 1.



Gambar 4. Uji Stepdrawdown untuk Sumur.2

Debit optimum (Q_{opt}) sumur 1 sebesar $0,01876 \text{ m}^3/\text{s}$ atau $67,53 \text{ m}^3/\text{jam}$ dengan Sw optimum $2,891 \text{ m}$. Hal ini menunjukkan bahwa air tanah pada sumur 1 dapat dipompa dan menghasilkan air sebesar $67,53 \text{ m}^3/\text{jam}$ dengan penurunan muka air sebesar $2,891 \text{ m}$ dengan kondisi pompa masih aman secara teknis. Setelah pemompaan pada sumur 1, permukaan air sumur dapat kembali dengan cepat seperti semula bahkan melebihi elevasi awal [14]. Sedangkan untuk sumur 2, debit optimum (Q_{opt}) sebesar $0,00318 \text{ m}^3/\text{s}$ atau $11,45 \text{ m}^3/\text{jam}$ dengan Sw optimum $2,100 \text{ m}$. Data tersebut menunjukkan terdapat cadangan air tanah yang terbatas [17].

4. SIMPULAN

Uji pompa (*pumping test*) dengan metode *step drawdown* terhadap sumur bor irigasi di desa Bonto Rannu Kecamatan Kajang Kabupaten Bulukumba dilakukan untuk menganalisis potensi debit air tanah. Debit optimum (Q_{opt}) sumur 1 sebesar $67,53 \text{ m}^3/\text{jam}$ dengan penurunan muka permukaan air sumur $2,891 \text{ m}$ dan Q_{opt} sumur 2 sebesar $11,45 \text{ m}^3/\text{jam}$ dengan Sw optimum $2,100 \text{ m}$. Berdasarkan data tersebut, sumur 1 berpotensi menghasilkan debit air tanah yang lebih besar dibandingkan dengan sumur 2, di mana data *pumping test* sumur 2 menunjukkan cadangan air tanah yang terbatas. Kedua sumur dapat digunakan sebagai sumber air irigasi pertanian di desa Bonto Rannu, kecamatan Kajang, kabupaten Bulukumba sesuai dengan potensi debit air. Disarankan juga ketika melakukan uji pompa, pompa yang cocok digunakan berdasarkan kapasitas sumur dan posisi pompa diperhatikan untuk menghindari aliran turbulensi di dalam sumur.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Kepada Masyarakat (DRPM) Kemendikbud Ristek yang berkontribusi pada pendanaan penelitian penulis.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agussalim, A., & AS, N. I. (2022). Identification of Groundwater Potential using Schlumberger Array of Resistivity Method in Bulukumba, South Sulawesi. *INTEK: Jurnal Penelitian*, 8(2), 157-163. <http://dx.doi.org/10.31963/intek.v8i2.3016>
- [2] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2017). *Modul 3: Modul Pengetahuan Umum Irigasi, Pelatihan Operasi dan Pemeliharaan Irigasi Tingkat Juru*. https://bpsdm.pu.go.id/center/pelatihan/uploads/edok/2019/02/048d4_MDL_Pengetahuan_Umum_Irigasi.pdf
- [3] Wijayanti, P. R., Sholichin, M., & Sisingih, D. (2014). Analisa Kuantitas dan Kualitas Airtanah di Kecamatan Kubu Kabupaten Karangasem Provinsi Bali. *Jurnal Teknik Pengairan: Journal of Water Resources Engineering*, 4(2).
- [4] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2018). *Modul 8: Pumping Test* https://bpsdm.pu.go.id/center/pelatihan/uploads/edok/2018/07/40130_Modul_8_Pumping_Test.docx
- [5] Sulianto, S., & Setiono, E. (2018, August). UJI KAPASITAS PRODUKSI SUMUR BOR RUMAH SAKIT UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG. In *Prosiding SENTRA (Seminar Teknologi dan Rekayasa)* (No. 1). <https://doi.org/10.22219/sentra.v0i1.2105>
- [6] Simpen, I. N., Utama, I. N. S., Redana, I. W., & Zulaikah, S. (2015). Metode Step Drawdown Test Sebagai Cara Untuk Menganalisa Kemampuan Produksi Sumur. In *Prosiding Seminar Nasional Fisika. FMIPA Universitas Mataram-Lombok*. Hal (pp. 14- 15).
- [7] Jarwanto, J. (2019). UJI PEMOMPAAN AIR TANAH METODE STEP DRAW DOWN UNTUK MENGETAHUI DEBIT OPTIMUM KEMAMPUAN SUMUR BOR. *Innofarm: Jurnal Inovasi Pertanian*, 21(1), 49-54. <https://doi.org/10.33061/innofarm.v21i1.3345>
- [8] AL-Chlaibawi, S. H., & Gzar, H. A. (2020, July). The flow and transport parameter estimation of groundwater in a laboratory-scale sand tank aquifer. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 888, No. 1, p. 012067)*. *IOP Publishing*. [10.1088/1755-1315/779/1/012089](https://doi.org/10.1088/1755-1315/779/1/012089)
- [9] Khan, M. F. H., Monir, M. U., Ahmed, M. T., Hasan, M. Y., Islam, M. N., Hasan, M. M., & Akter, R. (2021). Hydrostratigraphic Evaluation using Lithological and Stepdrawdown Test: A Case Study on the Aquifer of Ukhia, Cox's Bazar, Bangladesh. *The Dhaka University Journal of Earth and Environmental Sciences*, 53-62. <https://doi.org/10.3329/dujees.v10i3.59071>
- [10] Abdalla, F., & Moubark, K. (2018). Assessment of well performance criteria and aquifer characteristics using step-drawdown tests and hydrogeochemical data, west of Qena area, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 138, 336-347. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.11.023>
- [11] Nabawy, B. S., Abdelhalim, A., & El-Meselhy, A. (2019). Step-drawdown test as a tool for the assessment of the Nubia sandstone aquifer in East El-Oweinat Area, Egypt. *Environmental Earth Sciences*, 78(13), 1-22. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8375-0>

- [12] Simpen, I. N., Indriana, R. D., & Koesuma, S. (2021). Analisis Karakteristik Sumur Bor Sebagai Sumber Air Tanah pada Daerah Batu Karang dan Tandus. *Indonesian Journal Of Applied Physics*, 11(1), 68-79. <https://doi.org/10.13057/ijap.v11i1.47532>
- [13] Serianz, L., Rman, N., & Brenčič, M. (2020). Step-drawdown tests in exploitation wells for thermal and mineral water – Case study from Slovenia. *Geologija*, 63(2), 281–294. <https://doi.org/10.5474/geologija.2020.021>
- [14] Nasjono, J. K., Simatupang, P. H., Rizal, A. H., Pah, J. J., Hunggurami, E., & Latupeirissa, G. S. (2021). Kinerja Jaringan Irigasi Air Tanah Sumur PNK 219 di Nunkurus Kabupaten Kupang. *Sainstek*, 5(1), 106-11.
- [15] Sobri, M. S., Abd Malik, A. K., Dan, M. F. M., Hussin, H., & Alshameri, B. (2021). Assessment of Tube Well Pumping Test Performance on Different Geological Formation. *Journal of Sustainable Underground Exploration*, 1(1), 25-31.
- [16] Hamad, H. (2021). STUDI HIDROGEOLOGI TERHADAP KAPASITAS DEBIT AIR TANAH MENGGUNAKAN METODE PUMPING TEST PADA DAERAH BIROMARU KABUPATEN SIGI. *Jurnal Sains dan Teknologi Tadulako*, 7(2), 89-102. <https://doi.org/10.1061/TACEAT.0006033>
- [17] Ahmed, M. T., Hasan, M. Y., & Monir, M. U. (2020). Hydrostratigraphic Characterization in South-Eastern Coastal Aquifer of Bangladesh using Lithological Data and Step-drawdown Test. *Authorea Preprints*. DOI: 10.22541/au.158800273.37308700