

Stok Air Bawah Tanah Kawasan Karst berbasis Neraca Air

Septiono Eko Bawono¹, Hendry Edy², Imam Asri Ranivan³

Universitas Gunung Kidul^{1,2,3}, Jln KH Agus Salim 170, Wonosari, Gunungkidul
septiono.ekobawono@ugk.ac.id¹

Abstrak—Musim kemarau berdampak pada kurangnya ketersediaan air bersih bagi sebagian masyarakat karst Gunungkidul. Hal ini disebabkan karena tidak terdapat air permukaan padahal rata-rata curah hujan mencapai 2.123,25 mm per tahun. Air yang tersedia di wilayah ini diperkirakan mampu memenuhi kebutuhan air bersih penduduk yang berjumlah 750.000 jiwa. Berdasarkan prinsip neraca air, cadangan air minum dapat dihitung dengan masukan air total adalah keluaran air total ditambah dengan cadangan. Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif. Data-data yang digunakan adalah data sekunder sebagai input total masukan dan total keluaran. Data curah hujan selama 10 tahun dimodelkan sebagai total masukan rata-rata. Model ini menjadi dasar penghitungan cadangan dengan asumsi bahwa total keluaran adalah tetap. Metode analisis penelitian ini dengan pemodelan neraca air. Penelitian ini bertujuan menghitung ketersediaan air bawah tanah wilayah Gunungkidul untuk memenuhi kebutuhan air bersih penduduk. Hasil penghitungan menunjukkan bahwa cadangan air bawah tanah aktual cukup besar dan mampu memenuhi kebutuhan air bersih. Ketersediaan cadangan air ini masih mampu memenuhi bilamana terjadi aglomerasi perkotaan di wilayah ini dengan pertumbuhan penduduk sebesar 0,1% per tahun. Bahkan potensi cadangan air yang dimiliki mampu berkontribusi menjadi air baku produk air minum.

Kata kunci —Cadangan air minum, Gunungkidul, Neraca air

Abstract—The dry season has an impact on the lack of clean water availability for some karst communities of Gunungkidul. This is because there is no surface water even though the rainfall reaches 2,123.25 mm per year. The water that is available in this region is estimated to be able to fulfil the clean water needs of a population of 750,000 people. Based on the principle of water balance, water reserves can be calculated by total water input is total water output plus reserves plus reserves. This research uses a descriptive quantitative approach. The data used is secondary data as input for total water input and total water output. Rainfall data for 10 years was modelled as the total average input. This model forms the basis of the reserve calculation with assumption that the total output is fixed. The analysis method uses water balance modeling. This research aims to calculate the availability of underground water in the Gunungkidul region to fulfil the drinking water needs of the population drinking water needs of the population. The calculation results showed that the actual underground water reserves are large enough and able to fulfil the clean water needs of the population. The availability of availability is still able to fulfil the needs in the event of urban agglomeration in the region with a population growth of 0.1% per year. Moreover, the potential water reserves are able to contribute to raw water for drinking water products.

Keywords — Water reserves, Gunungkidul Regency, Water balance

I. PENDAHULUAN

Gunungkidul merupakan salah satu kabupaten di Indonesia dengan kawasan karst yang cukup luas. Kawasan karst ini merupakan suatu wilayah geografis yang ditandai oleh karakteristik geologi

khusus yang disebut karst. Karst terbentuk oleh pelarutan batuan terlarut, seperti batu kapur (kalsium karbonat) dan gipsum, yang terjadi melalui reaksi kimia antara air hujan dan batuan tersebut. Proses ini menghasilkan fitur-fitur unik

seperti gua, dolina (depresi berbentuk mangkuk), dan lapangan batu kapur yang terjal. Batuan karst ini memiliki sifat porus. Atas kondisi karst tersebut, air permukaan langsung meresap ke dalam batuan karst. Kawasan ini memiliki air berupa air bawah tanah. Oleh karena sifat porus yang membentuk rongga-rongga bawah tanah terjadilah sistem sungai bawah tanah (SBT). Hal ini menarik dan telah menjadi kajian akademik dalam beberapa dekade ini. Perjalanan sejarah perkembangan ide mengenai kawasan karst Gunungsewu yang diprakarsai oleh kalangan akademisi tersebut kemudian menjadi landasan bagi proposal pengakuan Gunungsewu sebagai kawasan ekokarst yang dilindungi [1]. Atas potensi ini masyarakat turut berupaya dalam menjaga kelestarian kawasan karst dengan potensi sumber daya airnya [2].

Ciri-ciri beragam dari Karst Gunungsewu tersebar dari barat ke timur, dan keberagaman ini bergantung pada parameter pola penyebaran dolina, kemiringan lereng, dan kekasaran permukaan karst [3]. Hal ini menjadi kawasan ledok Wonosari yang morfologinya potensial sebagai daerah tangkapan air hujan. Kondisi air terakumulasi di bawah permukaan sehingga sumber daya air permukaan berkurang [1].

Gunungkidul memiliki curah hujan rata-rata 2.123,25 mm per tahun. Menurut metode Oldeman dan Schmidt-Ferguson, klasifikasi hujan meliputi: 1) bulan basah dengan curah hujan >200mm; 1) bulan lembab dengan curah hujan 100-200mm; dan 3) bulan kering dengan curah hujan <100mm Bulan basah terjadi pada musim hujan antara bulan Januari hingga bulan Maret dan November dan bulan Desember setiap tahunnya. Bulan lembab terjadi pada bulan April-Mei setiap tahun. Dan bulan kering terjadi pada bulan Juni hingga Oktober setiap tahun. Pada periode tahun 2023, pada musim kemarau panjang beberapa kawasan karst mengalami defisit air bersih sehingga harus dilakukan *dropping* air. Sedangkan pada musim hujan terjadi surplus air. Di kawasan ini, hujan efektif mencapai 3,84 mm/hari dan perhitungan menggunakan *software Cropwat 8.0* menunjukkan bahwa evapotranspirasi potensial (ET_0) rata-rata adalah 3,57 mm/hari dalam perhitungan tahunan [4]. Adanya curah hujan ini

dipengaruhi oleh suhu, kelembaban dan tekanan udara.

Cadangan air permukaan sangat dipengaruhi oleh jumlah air hujan dan evaporasi serta evapotranspirasi [5]. Berdasarkan teori neraca air maka total air masukan merupakan jumlah total air keluar ditambah dengan cadangan air [5]. Pada kawasan karst air hujan hampir seluruhnya masuk ke dalam tanah [6]. Lebih lanjut dijelaskan bahwa pada situasi di lapangan, sulit untuk memisahkan antara proses penguapan dan transpirasi ketika tanahnya dilindungi oleh vegetasi. Kedua fenomena tersebut, yaitu penguapan dan transpirasi, saling terhubung sehingga dikenal sebagai evapotranspirasi. Pada pemodelan evaporasi, model yang memiliki nilai R^2 terbesar adalah model Priestley [7]:

$$E_o = \frac{\alpha A \Delta}{\rho \lambda (\Delta + \gamma)}$$

Pada pemodelan evapotranspirasi, model yang memiliki nilai R^2 terbesar adalah model Jensen Haise [6]:

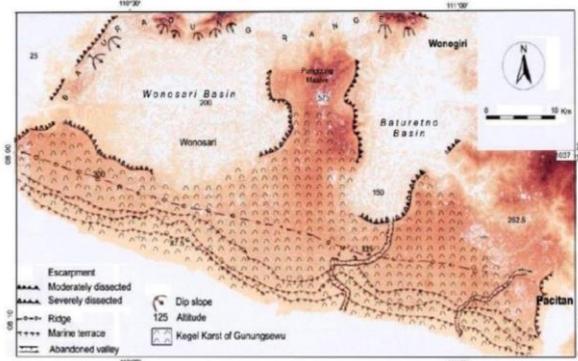
$$ET_P = C_T (T_{\text{mean}} - T_x) R_S$$

Berdasarkan kedua persamaan tersebut, nilai evaporasi pada kawasan karst sangat kecil karena jumlah air permukaan sangat sedikit. Oleh karena nilai evaporasi pada kawasan karst yang sangat kecil, analisis ditekankan pada variabel evapotranspirasi.



Gambar 1. Karakteristik tanah karst yang porus
Sumber: Haryono, 2020

Profil batuan karst yang porous tampak pada gambar 1. Batuan ini memiliki lapisan solum yang dangkal. Wilayah karst



Gambar 2. Wilayah Gunungkidul berupa Basins Wonosari dan Basin Baturetno
Sumber: Haryono, 2017

Gunungkidul berupa cekungan sebagaimana tampak pada gambar 2. Cekungan ini membentang dari sisi barat hingga sisi timur dan dari sisi utara hingga sisi selatan. Cekungan yang cukup luas ini memungkinkan wilayah ini menjadi daerah tangkapan air.

Atas kondisi tersebut perlu dilakukan penghitungan cadangan air bawah tanah. Air bawah tanah dapat digunakan sebagai air baku air sebagai kebutuhan pokok bagi penduduk. Mengukur komponen siklus hidrologi di daerah tangkapan air merupakan hal yang penting untuk menilai distribusi temporal, kuantitas dan kualitas sumber daya air yang tersedia di suatu daerah, terutama pada kondisi perubahan iklim sekarang ini [8]. Hal ini diperlukan penguatan modal hubungan (*linking capital*) agar usaha meningkatkan dan mempercepat penyediaan air domestik yang lebih baik [9]. Kebutuhan air yang digunakan oleh masyarakat memerlukan manajemen yang efektif dan berkelanjutan, bertujuan untuk memaksimalkan pemenuhan kebutuhan air bagi penduduk. Air tanah adalah sumber daya yang sangat penting untuk memenuhi kebutuhan air di banyak wilayah [10]. Model yang didasarkan pada hubungan curah hujan-limpasan dan keseimbangan air DAS secara teoritis harus memenuhi persamaan dasar ($P = E + Q + \Delta S$), di mana ΔS merupakan cadangan air [11]. Empat prinsip penting ditetapkan dalam Konferensi Internasional tentang Lingkungan dan Air di

Dublin pada tahun 1992 antara lain: lingkungan, kelembagaan, gender dan ekonomi. Prinsip-prinsip ini menjadi dasar *Integrated Water Resources Management* (IWRM). Hal ini mensyaratkan nilai ekonomi dalam pengelolaan sumber daya air.

Pengelolaan sumber daya air wilayah karst dapat dimulai dengan melakukan inventarisasi sumber daya air pada formasi lahan di wilayah karst Kabupaten Gunungkidul. Berdasarkan teori neraca air, total masukan pada wilayah ini dapat diperhitungkan dari total air hujan. Oleh karena morfologi cekungan yang melingkupi total area mencapai 1.485,36 km², seluruh air hujan dapat ditangkap sebagai air masukan.

Tujuan penelitian ini adalah menghitung ketersediaan cadangan air bawah tanah untuk suplai air minum penduduk Gunungkidul. Penelitian terdahulu telah mengidentifikasi potensi sumber daya air bawah tanah kawasan karst Gunungsewu, namun belum menyajikan informasi mengenai jumlah cadangan air bawah tanah kawasan karst Gunungkidul untuk memenuhi kebutuhan air minum. Cadangan air bawah tanah ini merupakan bagian dari siklus air secara keseluruhan baik siklus harian bahkan tahunan.

II. METODE PENELITIAN

Sesuai dengan tujuan, metode yang digunakan pada penelitian adalah deskriptif kuantitatif. Data sekunder berupa data masukan air dan data luaran air. Data masukan air yaitu curah hujan Kabupaten Gunungkidul dalam kurun waktu 2012-2021. Air hujan (presipitasi) merupakan input air masukan. Data keluaran air antara lain: air yang digunakan oleh tanaman (evapotranspirasi) dan penguapan (evaporasi).

Berdasarkan teori neraca air, cadangan air adalah total air masukan dikurangi jumlah total air keluar. Pada wilayah penelitian merupakan kawasan karst, total air masukan berupa air hujan. Di wilayah ini dapat diasumsikan seluruhnya masuk ke dalam tanah. Jumlah air tanah yang digunakan untuk irigasi jumlahnya sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Demikian pula pada SBT dengan debit yang cukup besar hanya sedikit digunakan sebagai air baku PDAM Gunungkidul sehingga pada kajian ini pun dapat diabaikan.

Sehingga pendekatan neraca air pada wilayah ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

Berdasarkan nilai ΔS , cadangan keseluruhan air suatu wilayah dapat diperhitungkan sebagai

Tabel 1. Curah hujan Gunungkidul

Bulan	Curah Hujan (mm)									
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Januari	442,78	499,78	387,94	373,28	243,67	349,06	479,44	505,00	277,00	352,80
Februari	322,39	296,11	332,78	265,61	371,94	368,39	200,67	200,00	336,00	276,00
Maret	397,50	168,83	108,22	390,72	257,11	280,78	241,50	527,00	422,00	245,90
April	158,50	198,78	179,89	330,72	24,94	196,11	90,72	164,00	334,00	236,00
Mei	73,11	172,78	63,89	81,61	126,78	57,22	14,17	36,00	80,00	60,10
Juni	0,92	334,17	56,50	11,39	19,83	37,17	0,56	0	8,00	209,00
Juli	0	131,67	59,56	0,61	65,11	17,00	0,06	0	2,00	8,80
Agustus	0	0,06	0,83	0	82,11	4,28	0	0	24,00	33,90
September	0	0,06	0	0	210,83	44,28	0	0	12,00	133,60
Oktober	78,44	68,22	0,44	1,22	262,39	121,72	1,89	0	191,00	145,70
November	227,25	245,28	220,11	109,94	36,67	577,28	121,33	131,00	329,00	344,80
Desember	399,25	374,17	471,78	248,22	303,94	277,22	116,06	274,00	312,00	409,90
Total	2100,14	2489,91	1881,94	1813,32	2729,32	2330,51	1266,40	1837,00	2327,00	2457,00

Sumber: BPS.go.id, 2023

berikut:

$$\Delta S = P - ETa - EVP \quad (1)$$

ΔS = cadangan air
 P = (presipitasi) air hujan
 ETa = evapotranspirasi
 EVP = evaporasi

$$V = \Delta S \times \text{Luas Wilayah} \quad (4)$$

Perkiraan curah hujan berikutnya mendasarkan pada teori neraca air dengan asumsi bahwa total air keluaran bersifat tetap. Adapun total curah hujan mengacu pada model persamaan regresi berikut ini:

Pada kawasan karst ini, variabel evaporasi dapat diabaikan sehingga cadangan air dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\Delta S = P - ETa \quad (2)$$

ΔS = cadangan air
 P = presipitasi (air hujan)
 ETa = evapotranspirasi

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \epsilon \quad (5)$$

Y = curah hujan dalam mm
 X_1, X_2 = variabel independen
 $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ = parameter yang diestimasi
 ϵ = error

Pada setiap kategori bulan basah, lembab dan kering cadangan air dapat diperhitungkan sebagai berikut:

$$\Delta S_n = P_n - ETa_n \quad (3)$$

ΔS_n = cadangan air bulan n
 P_n = presipitasi (air hujan) bulan n
 ETa_n = evapotranspirasi bulan n

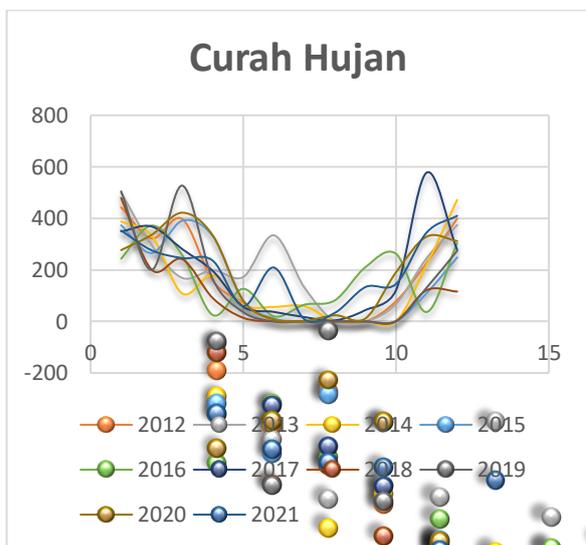
III. HASIL PENELITIAN

A. Total Air Masukan

Gunungkidul merupakan kawasan karst dengan potensi pertanian dan perkebunan. Kawasan ini menjadi bagian dari karst Gunungkidul, Wonogiri hingga Pacitan. Di bagian barat, utara timur dan selatan, kawasan ini dibatasi perbukitan yang termasuk dalam deretan Gunung Sewu. Bentuk alam pegunungan di sekeliling mewujudkan cekungan bagian tengah berupa basin. Kawasan ini memiliki curah hujan yang khas. Data curah

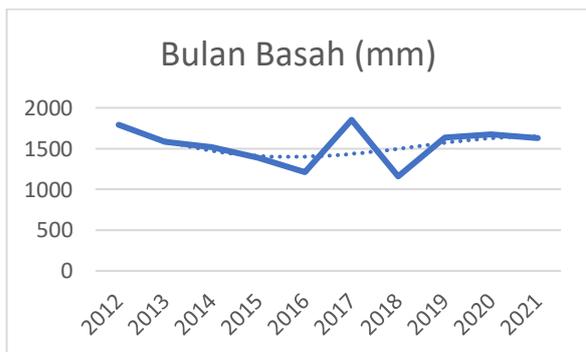
hujan selama 10 tahun antara tahun 2012 hingga 2021 tertera pada tabel 1. Pada tabel tersebut tampak bahwa di wilayah ini terdapat bulan basah, bulan lembab dan bulan kering. Data ini menggambarkan fluktuasi curah hujan setiap tahun pada kurun 2012-2021.

Berdasarkan tabel 1, sebaran curah hujan setiap bulan dalam satu tahun tampak pada gambar 3.



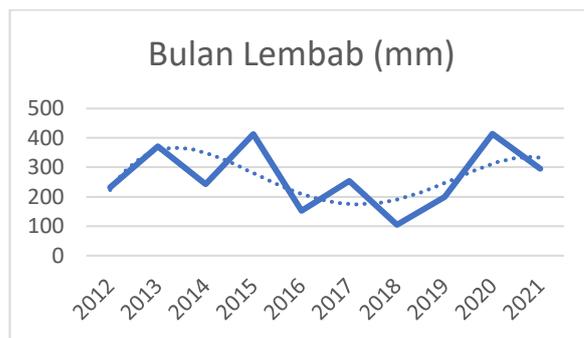
Gambar 3. Sebaran curah hujan di Gunungkidul setiap bulan pada tahun 2012-2021

Sebaran curah hujan dalam kurun 2012-2021 tiap bulannya yaitu: 1) bulan basah terjadi pada bulan Januari hingga Maret serta November dan Desember; 2) bulan lembab terjadi pada bulan April dan Mei; dan 3) bulan kering terjadi pada bulan Juni hingga Oktober. Karakteristik curah tersebut tampak pada gambar 4, gambar 5, dan gambar 6.



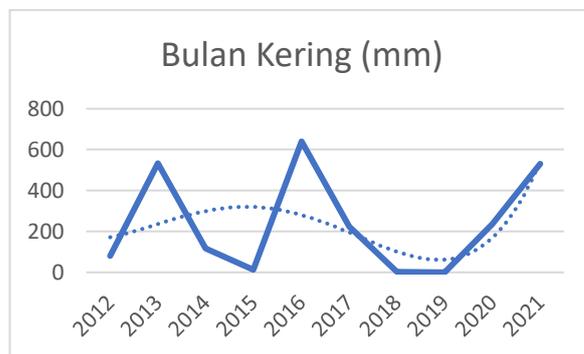
Gambar 4. Siklus bulan basah

Berdasarkan gambar 4, siklus bulan basah memiliki curah hujan tinggi dengan fluktuasi naik dan turun namun memiliki tren curah hujan turun.



Gambar 5. Siklus bulan lembab

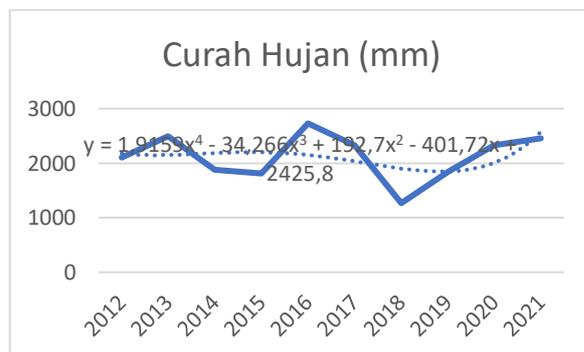
Berdasarkan gambar 5, siklus bulan lembab memiliki curah hujan sedang dengan fluktuasi naik dan turun namun trend curah hujan turun.



Gambar 6. Siklus bulan kering

Berdasarkan gambar 6, siklus bulan kering memiliki curah hujan rendah dengan fluktuasi naik dan turun namun trend curah hujan naik.

Karakteristik pada gambar 4, 5, dan 6 memberikan gambaran bahwa kondisi pada setiap waktu tersebut cenderung bersifat naik dan turun baik pada masa bulan basah, bulan lembab dan bulan kering. Apabila ditinjau dari rerata curah hujan selama satu tahun sebagaimana sebaran pada gambar 3, model curah hujan rerata dapat diproyeksikan seperti pada gambar 7.



Gambar 7. Curah hujan rerata

Secara keseluruhan, rerata curah hujan sepanjang kurun waktu 2012-2021 dengan fluktuasi naik dan turun menunjukkan tren setimbang dengan persamaan:

$$y=1,9153x^4-34,266x^3+192,7x^2-401,72x+2425,8 \quad (6)$$

Persamaan tersebut mengindikasikan tren pada kondisi setimbang dengan rerata 2.123,25 mm/tahun.

B. Total Air Keluaran

Pada kondisi Gunungkidul yang berupa kawasan karst, total air keluaran hanya mempertimbangkan evapotranspirasi. Kondisi karst menyebabkan sedikitnya jumlah air permukaan dan cadangan air berada di dalam tanah. Kawasan Gunungkidul didominasi lahan-lahan berupa hutan, lahan perkebunan, lahan kebun campuran dan tegalan [3]. Berdasarkan kondisi lahan tersebut, dapat menjadi dasar penentuan total air keluaran. Sehingga nilai evapotranspirasi harian sebesar 3,57 mm/hari akan mempengaruhi hasil evapotranspirasi tahunan sebagai berikut:

$$ETa = 3,57 \text{ mm/hr} \times 365 \text{ hr} \\ = 1.401,60 \text{ mm}$$

Kawasan Gunungkidul mengalami evapotranspirasi tahunan mencapai 1.401,6 mm/tahun.

C. Cadangan Air

Berdasarkan persamaan (2), cadangan air dapat ditentukan dengan pendekatan tahunan sebagai berikut:

$$\Delta S = P - ETa \\ \Delta S = P - ETa \\ = 2.123,25 - 1.401,60 \text{ mm/tahun} \\ = 721,65 \text{ mm/tahun}$$

Cadangan air bawah tanah di Gunungkidul setiap tahun mencapai 721,65 mm/tahun.

Jika didasarkan pada kondisi aktual adanya bulan basah, bulan lembab dan bulan kering, cadangan air bawah tanah dapat diperhitungkan sebagai berikut:

$$Eta_{\text{bulan}} = 3,57 \text{ mm/hr} \times \Sigma \text{ hr}$$

$$P_n = P \times \Sigma \text{ hari bulan } n$$

$$\Delta S_n = P_n - Eta_n$$

Berdasarkan tabel 2, pada bulan Januari hingga April dan November hingga Desember terjadi

Tabel 2. Cadangan air bulan n

Bulan	Curah Hujan Bulan n	Evapotranspirasi Bulan n	Cadangan Air Bulan n
Januari	391,075	110,67	280,405
Februari	296,999	99,96	197,039
Maret	303,956	110,67	193,286
April	191,366	107,10	84,266
Mei	76,566	110,67	-34,104
Juni	67,764	107,10	-39,336
Juli	28,481	110,67	-82,189
Agustus	14,518	107,10	-92,582
September	40,077	110,67	-70,593
Oktober	87,102	107,10	-19,998
November	234,266	110,67	123,596
Desember	318,654	107,10	211,554
Total	2050,824	1299,48	751,344

surplus cadangan air. Sebaliknya pada bulan Mei hingga Oktober terjadi defisit cadangan air. Oleh karena curah hujan dipengaruhi oleh faktor suhu, kelembaban dan tekanan udara, curah hujan pada tahun 2021 tampak pada tabel 3.

Tabel 3. Curah hujan tahun 2021

Bulan	Curah Hujan	Suhu	Kelembaban	Tekanan Udara
Januari	352.8	27.5	78	988
Februari	276.1	27.5	79	988.4
Maret	245.9	27.9	78	988.7
April	236	28.4	74	989.5
Mei	60.1	28.7	74	989
Juni	209.1	27.9	78	990.3
Juli	8.8	27.8	71	990.4
Agustus	33.9	27.4	73	991.1
September	133.6	27.9	72	990.3
Oktober	145.7	27.7	76	990.2
November	344.8	27.1	82	988.3
Desember	409.9	27.7	79	989.5

Berdasarkan data tabel 3, berikut ini statistika yang dapat disajikan dari variabel suhu, kelembaban dan tekanan udara:

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.853855
R Square	0.729069
Adjusted R Square	0.62747
Standard Error	79.88985
Observations	12

ANOVA		
	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	7.175936	0.011731
Residual		
Total		

<i>Coefficients</i>	
Intercept	23402.49
X1	3.15664
X2	27.85368
X3	-25.6773

Curah hujan dipengaruhi oleh suhu, kelembaban dan tekanan udara. Curah hujan dinyatakan dengan hasil regresi linier berganda berikut ini:

$$Y=3,12X_1+27,85X_2-25,67X_3-23.402,49$$

Data ini valid dengan nilai: *Multiple R* 0,85; *Adjusted R Square* 0,63 dan *Significance F* 0,012. Dengan nilai *Multiple R* 0,85 menunjukkan bahwa variabel suhu, kelembaban, dan tekanan udara memiliki korelasi yang sangat kuat dengan curah hujan.

IV. PEMBAHASAN

A. Hasil

Perhitungan cadangan air berdasarkan siklus tahunan sejumlah 721,65 mm/tahun dan perhitungan cadangan air berdasarkan siklus bulan basah, bulan lembab dan bulan kering sejumlah 751,34 mm/tahun. Hasil kedua perhitungan menunjukkan kondisi yang surplus cadangan air.

Perhitungan tersebut menunjukkan bahwa pada bulan kering terjadi defisit air, pada bulan basah terjadi surplus cadangan air.

Dengan hasil tersebut dapat ditetapkan hasil perhitungan siklus tahunan sebagai nilai ΔS pada wilayah Gunungkidul. Nilai ini dapat menjadi dasar asumsi penentuan total volume air yang menjadi cadangan air secara keseluruhan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V &= \Delta S \times \text{luas wilayah} \\ &= 721,65\text{mm} \times 1.485,36 \text{ km}^2 \\ &= 1,072 \times 10^8 \text{m}^3 \end{aligned}$$

Jadi keseluruhan cadangan air pada Basin Wonosari dan Basin Baturetno mencapai $1,072 \times 10^8 \text{ m}^3$ dengan daerah tangkapan air seluruh luasan cekungan tersebut.

B. Pembahasan

Gunungkidul merupakan wilayah dengan jumlah populasi 750.000 jiwa. Wilayah ini merupakan kawasan permukiman dengan kepadatan rendah. Sehingga analisis kebutuhan air bersih hanya memperhitungkan pemenuhan kebutuhan domestik antara lain air bersih dan air minum.

1. Kebutuhan Air Bersih (Q_1)

Standar kebutuhan air bersih wilayah perkotaan sedang adalah 100 liter/orang/hari. Sehingga total penduduk Gunungkidul membutuhkan air bersih sejumlah berikut ini:

$$\begin{aligned} Q_1 &= 750.000 \text{ orang} \times 100 \text{ liter/orang/hari} \\ &= 7,5 \times 10^7 \text{ liter/hari} \\ &= 2,74 \times 10^{12} \text{ liter/tahun} \end{aligned}$$

Selama satu tahun kebutuhan air bersih Gunungkidul mencapai $2,74 \times 10^{12}$ liter/tahun.

2. Kebutuhan Air Minum (Q_2)

Kebutuhan air minum penduduk Gunungkidul dapat diperhitungkan berdasarkan standar air minum 8 liter/orang/hari. Hal tersebut dapat diperhitungkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q_2 &= 750.000 \text{ orang} \times 8 \text{ liter/hari} \\ &= 6 \times 10^5 \text{ liter/hari} \\ &= 2,12 \times 10^{11} \text{ liter/tahun} \end{aligned}$$

Selama satu tahun kebutuhan air minum Gunungkidul mencapai $2,12 \times 10^{11}$ liter/tahun.

3. Ketersediaan Air Bawah Tanah

Berdasarkan perhitungan cadangan air bawah tanah, ketersediaan air bawah tanah wilayah Gunungkidul mencapai $1,072 \times 10^8$ m³/tahun. Sebagaimana perhitungan Q1 dan Q2 dapat diperhitungkan bahwa kebutuhan air bersih sejumlah $2,74 \times 10^{12}$ liter/tahun dan air minum sejumlah $2,12 \times 10^{11}$ liter/tahun dapat dipenuhi dari cadangan air bawah tanah.

Dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang mempengaruhi curah hujan di Gunungkidul, persamaan berikut ini menyajikan kontinuitas terjadinya curah hujan:

$$Y = 3,12X_1 + 27,85X_2 - 25,67X_3 - 23.402,49$$

Perkiraan terjadinya curah hujan berdasarkan persamaan tersebut didominasi oleh variabel kelembaban udara. Padahal di Gunungkidul, kelembaban udara mempunyai nilai yang cukup tinggi. Sehingga tren terjadinya hujan linier dengan kelembaban udara. Hal ini dapat dinyatakan bahwa terjadinya hujan di Gunungkidul bersifat kontinyu.

Cadangan air bawah tanah wilayah Gunungkidul seluruhnya bersumber dari air hujan. Berdasarkan sifat hujan yang kontinyu, curah hujan dapat digunakan sebagai parameter ketersediaan air di Gunungkidul. Hal ini dapat dianalisis lebih lanjut mengenai kontinuitas hujan tersebut sebagai berikut:

$$y = 1,9153x^4 - 34,266x^3 + 192,7x^2 - 401,72x + 2425,8$$

Berdasarkan persamaan polinomial tersebut, jumlah air hujan dapat diproyeksikan hingga dalam kurun waktu 50 tahun yang akan datang sebagai berikut:

Tabel 4. Proyeksi Cadangan Air Tahun ke-n

Tahun ke-n	Curah Hujan (mm)	Tahun ke-n	Curah Hujan (mm)
1	2183.930	6	2033.730
2	2149.186	7	1902.398
3	2184.446	8	1847.674
4	2199.066	9	2008.826
5	2148.388	10	2571.100

Tahun ke-n	Curah Hujan (mm)
11	3765.726
12	5869.914
13	9206.858
14	14145.73
15	21101.69
16	30535.87
17	42955.39
18	58913.35
19	79008.83
20	103886.9
21	134238.6
22	170801
23	214357
24	265735.7
25	325812
26	395506.9
27	475787.3
28	567666.1
29	672202.3
30	790500.7

Tahun ke-n	Curah Hujan (mm)
31	923712.2
32	1073034
33	1239708
34	1425023
35	1630315
36	1856964
37	2106397
38	2380087
39	2679552
40	3006357
41	3362112
42	3748475
43	4167148
44	4619879
45	5108464
46	5634742
47	6200601
48	6807972
49	7458835
50	8155214

Proyeksi tersebut menunjukkan bahwa hingga tahun ke-50, curah hujan memiliki tren meningkat. Hal ini dapat menjadi parameter sumber cadangan air bawah tanah.

4. Keberlanjutan Air Bawah Tanah

Sebagaimana telah dipertimbangkan bahwa curah hujan yang kontinyu dapat dipastikan menjadi sumber utama cadangan air bawah tanah (ΔS) di Gunungkidul sehingga cadangan ini juga bersifat kontinyu. Kontinuitas ini dapat pula dipertimbangkan sebagai keberlanjutan ketersediaan air bawah tanah. Air tanah sebagai satu-satunya sumber air yang terdapat di Gunungkidul, hal ini dapat diperhitungkan sebagai daya dukung sumber daya air pada wilayah ini.

Berdasarkan angka pertumbuhan penduduk Gunungkidul sebesar 0,1% pertahun, pertumbuhan jumlah penduduk masih jauh di bawah tren ketersediaan cadangan air bersih maupun cadangan air minum. Sehingga dapat dipastikan bahwa kebutuhan air domestik masih mampu dipenuhi oleh cadangan air bawah tanah.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis curah hujan, kawasan karst Gunungkidul memiliki karakteristik curah hujan yang khas. Analisis tersebut menunjukkan bahwa tren curah hujan rata-rata setiap tahun

memiliki kecenderungan peningkatan. Hal ini berkontribusi pada peningkatan cadangan air bawah tanah.

Analisis tersebut menunjukkan bahwa cadangan air tahunan mengalami peningkatan jumlah dengan asumsi bahwa variabel evaporasi didominasi oleh evapotranspirasi. Cadangan air rata-rata setiap tahun mencapai 721,65 mm mampu menyediakan kebutuhan air bersih dan air minum penduduk Gunungkidul. Cadangan air bawah tanah ini merupakan jumlah yang sangat besar sehingga mampu memberikan nilai daya dukung lingkungan kawasan karst.

Hasil penelitian ini turut merekomendasikan pemanfaatan air bawah tanah sebagai air baku air minum komersial dengan pendekatan pengelolaan air minum terpadu.

DAFTAR PUSTAKA

1. Haryono E, Barianto DH, Cahyadi A. Hidrogeologi Kawasan Karst Gunungsewu: Panduan Lapangan Fieldtrip PAAI 2017 [Hydrogeology of Gunungsewu Karst Area: PAAI Fieldtrip Field Guide 2017]. Pekan Ilm Tah Ahli Air Tanah Indones [Internet]. 2017;(December 2018):1-33. Indonesian. Available from: <https://doi.org/10.31227/osf.io/t5dgp>
2. Apriani F, Setianingsih YD, Arum UMP, Susanti KA, Wicaksono SI, Faruk A. Analisis Curah Hujan Sebagai Upaya Meminimalisasi Dampak Kekeringan Di Kabupaten Gunung Kidul Tahun 2014. *Khazanah*. 2014;6(2):13–22.
3. Aster G. Karakteristik morfologi cekungan karst gunungsewu melalui data gdem aster. 2004;37–45.
4. Khalimi F, Kusuma Z. Analisis Ketersediaan Air Pada Pertanian Lahan Kering di Gunungkidul Yogyakarta. *J Tanah dan Sumberd Lahan* [Internet]. 2018;5(1):2549–9793. Available from: <http://jtsl.uib.ac.id721>
5. Lai Y, Tian J, Kang W, Guo S, Zhou Y, He C. Estimating evapotranspiration from soil moisture using the improved soil water balance method in cold mountainous areas. *J Hydrol X* [Internet]. 2023;20(222):100154. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2023.100154>
6. Haryono E, Cahyadi A, Amin Nurrohman M, Adzan G, Andriani Nasution L, Diah H, et al. *Dinamika Luweng Belimbing, Kawasan Karst Gunungsewu Pasca Siklon Tropis Cempaka Tahun 2017*. *J Geogr*. 2020;12(01):261.
7. Ahmad Fausan, Setiawan BI, Arif C, Saptomo SK. Analisa Model Evaporasi dan Evapotranspirasi Menggunakan Pemodelan Matematika pada Visual Basic di Kabupaten Maros. *J Tek Sipil dan Lingkungan*. 2021;5(3):179–96.
8. Clemenzi I, Quinlan E, Mansanarez V, Jansson P, Jarsjö J, Manzoni S. Annual Water Balance and Hydrological Trends in the Glacierised Tarfala Catchment, Sweden. *J Hydrol*. 2023;626(August):130028.
9. Methods S, Problems IV. Chapter 10. “Ekologi Lingkungan Kaw Karst Indones Menjaga Asa Kelestarian Kaw Karst Indones [Internet]. 2014;267–88. Available from: <https://osf.io/preprints/inarxiv/fwbgu/>
10. Bergsten CF. *The Economics of War*. Vol. 18, *New Perspectives Quarterly*. 2001. 48–50 p.
11. Lei X, Cheng L, Ye L, Zhang L, KIM JS, Qin S, et al. Integration of the generalized complementary relationship into a lumped hydrological model for improving water balance partitioning: A case study with the Xinanjiang model. *J Hydrol* [Internet]. 2023;621(April):129569. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129569>