

Kajian Perubahan Muka Airtanah di Cekungan Airtanah Yogyakarta-Sleman

Heru Hendrayana^{1*}, Azmin Nuha², Indra Agus Riyanto³, Briyan Aprimanto²

¹Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

²Groundwater Working Group (GWWG) Teknik Geologi, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

³Magister Pengelolaan dan Perencanaan Pesisir dan Daerah Aliran Sungai, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Email Koresponden: indra.agus.r@gmail.com

Direvisi: 2020-12-23. Diterima: 2021-01-25

©2021 Fakultas Geografi UGM dan Ikatan Geograf Indonesia (IGI)

Abstrak. Jumlah penduduk dan industri yang terus meningkat di Cekungan Airtanah (CAT) Yogyakarta-Sleman. Perubahan muka airtanah dipengaruhi oleh faktor alami maupun faktor akibat aktivitas manusia. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan muka airtanah dan faktor yang paling berpengaruh terhadap perubahan muka airtanah. Metode yang digunakan berupa analisis spasial perubahan muka airtanah dan uji korelasi serta regresi. Data yang digunakan untuk analisis perubahan muka airtanah adalah sumur gali, sumur bor, curah hujan, penggunaan lahan, transmissivitas dan pemanfaatan airtanah tahun 2011 dan 2015. Sampel sumur gali yang digunakan sejumlah 800 dan sampel sumur bor yang digunakan sejumlah 16. Analisis spasial dilakukan dengan membandingkan dua peta muka airtanah tahun 2011 dan 2015 dengan menggunakan Arc GIS. Analisis statistik dilakukan dengan menggunakan *Statistical Product and Service Solutions* (SPSS). Metode statistik yang digunakan adalah uji korelasi *pearson product moment* dan regresi metode *backward* dan *stepwise*. Perubahan muka airtanah akuifer bagian atas tahun 2011 hingga 2015 memiliki perbedaan kedalaman antara -7 – 11 meter, sedangkan akuifer bagian bawah berkisar -2,2 – 1,4 meter. Parameter yang memiliki pengaruh terbesar hingga terkecil terhadap perubahan muka airtanah akuifer bagian atas adalah hujan (0,000), tutupan lahan (0,001), tingkat pemanfaatan airtanah (0,001) dan transmissivitas (0,411), sedangkan akuifer bagian bawah berupa tingkat pemanfaatan airtanah (0,000), transmissivitas (0,000), jumlah sumur bor (0,015), hujan (0,026), dan tutupan lahan (0,254). Faktor yang paling berpengaruh terhadap perubahan muka airtanah akuifer bagian atas adalah curah hujan dengan hasil regresi backward 0,133, sedangkan pada akuifer bagian bawah adalah jumlah sumur bor pengguna airtanah dengan hasil regresi backward -0,012.

Kata kunci: Perubahan muka airtanah, cekungan airtanah Yogyakarta-Sleman, akuifer atas dan bawah, analisis statistik

Abstract The development of industries and populations in Yogyakarta-Sleman Groundwater Basin. There are several factors that can change the water table is natural factors and anthropogenic factors. The objectives of this research are to know whether the water tables changed and to analyze the most influential factor in the water table change. The method of the research consists of making spatial analysis the water table changes map and correlation analyses as well as regression analyses. The data used for analysis of groundwater level changes are dug wells, boreholes, rainfall, landuse, transmissivity and groundwater use in 2011 and 2015. This research used 800 samples dug wells and 16 boreholes. Spatial analysis compared groundwater level map in 2011 and 2015 using ArcGIS. Statistical analysis was performed using Product and Service Solutions (SPSS). The statistical method used is the product moment correlation and backward and stepwise regression methods. The water table change on the upper aquifer in 2011 and 2015 has different depth about -7 – 14 meter whereas the lower aquifer in 2011 and 2015 is -2,2 – 1,4 meter. The largest and the smallest influence of the parameters toward the water table change on the upper aquifer respectively are rainfall parameter (0,000), land cover (0,001), the rate of groundwater usage (0,001) and transmissivity (0,411). In the other hand, the influences of the parameters on the lower aquifer are the rate of groundwater usage (0,000), transmissivity (0,000), the number of drilling well (0,015), rain fall (0,026), and land cover (0,254). The most influence factor to the water table change on the upper aquifer is rain fall with backward regression 0,133, whereas on the lower aquifer is the number of drilling well with backward regression -0,012.

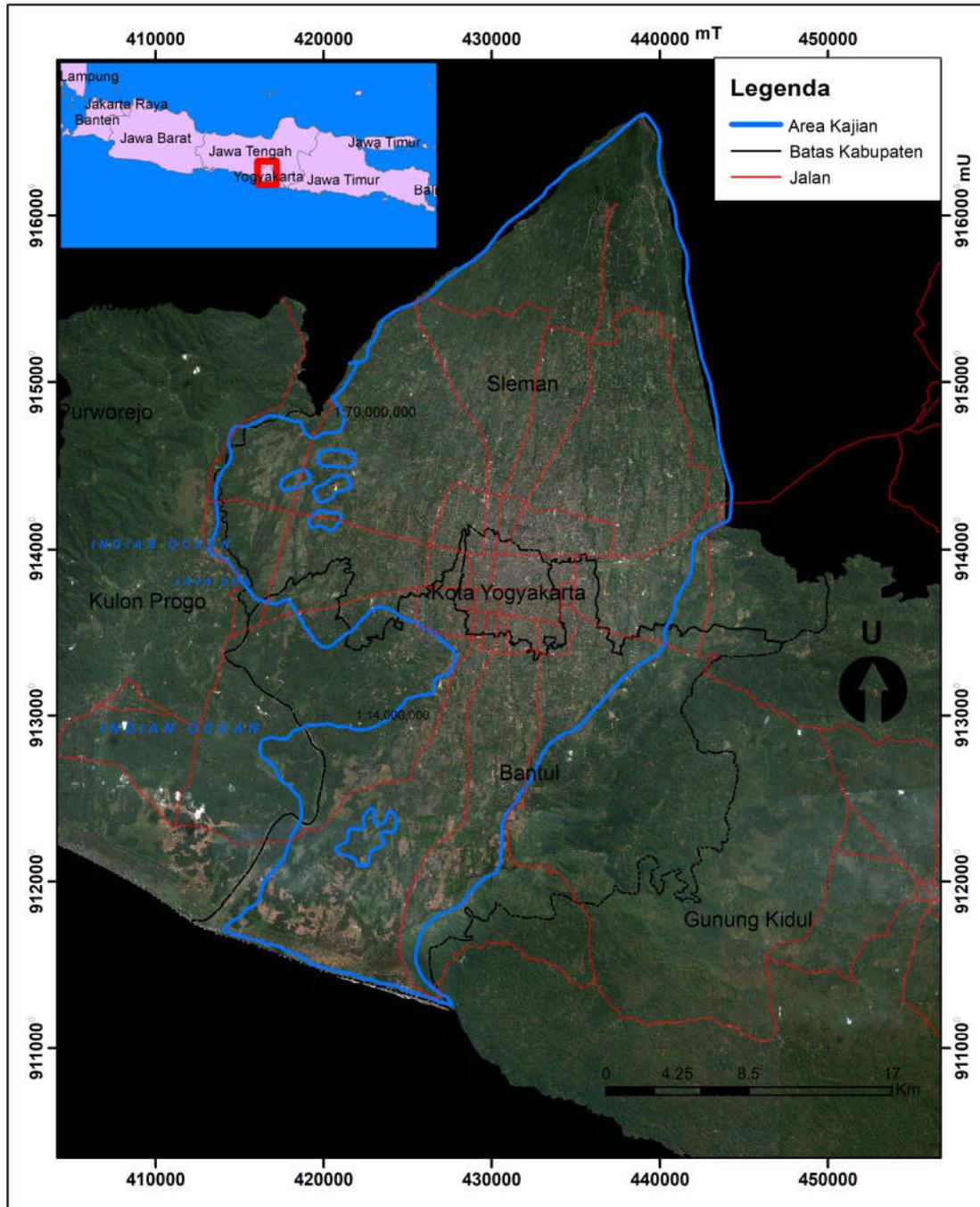
Keywords: The water table change, Yogyakarta-Sleman Groundwater Basin, upper and lower aquifer, statistical analysis

PENDAHULUAN

Airtanah merupakan sumber air utama yang banyak dimanfaatkan. Saat ini airtanah di dunia telah banyak dilakukan eksploitasi seiring dengan pertambahan jumlah penduduk (Jiao et al., 2008; (Kalhor & Emaminejad, 2019) . Dampak yang disebabkan oleh pengambilan airtanah secara *massive* adalah penurunan muka airtanah (X. Li et al., 2014; (Oiro et al., 2020) . Selain itu terdapat faktor lainnya penyebab penurunan muka airtanah yaitu faktor alam dan non alam. perubahan penggunaan lahan (Li et al., 2018), gempa bumi (Liu et al., 2018), *climate change* (Mustafa et al., 2017), dan rechuhan (Ahmed et al., 2019). Faktor-faktor tersebut perlu dilakukan kontrol dan monitoring supaya tidak terjadi penurunan muka airtanah terkhusus yang diakibat-

kan oleh aktivitas manusia yaitu penggunaan airtanah dan perubahan penggunaan lahan. Sementara itu faktor lainnya berupa gempa, *recharge*, transmissivitas dan *climate change* merupakan faktor alam. Tinggi muka airtanah menjadi kunci penting dalam perencanaan, perlindungan, monitoring, dan management airtanah (Júnez-Ferreira et al., 2019).

Penurunan Muka airtanah juga terjadi di CAT Yogyakarta-Sleman. Penurunan muka airtanah terjadi di beberapa bagian CAT Yogyakarta-Sleman sebesar >0,3 meter/tahun (Tim Fakultas Teknik UGM, 2011). Penelitian lainnya menunjukkan bahwa terjadi penurunan muka airtanah beberapa tempat di Kota Yogyakarta pada kisaran 0-9 meter (Manny et al., , 2017). Penurunan muka airtanah juga diikuti



Gambar 1. Peta Lokasi CAT Yogyakarta-Sleman

dengan peningkatan pemanfaatan airtanah di CAT Yogyakarta-Sleman tahun 2013 hingga tahun 2019 (Hendrayana & Vicente, 2013; Cahyadi et al., 2020; Hendrayana et al., 2020). Selain itu, sektor pemukiman dan industri yang meningkat setiap tahunnya di wilayah CAT Yogyakarta-Sleman, juga berpengaruh terhadap eksploitasi airtanah yang berdampak terhadap penurunan muka airtanah.

Muka airtanah yang semakin menurun setiap tahunnya di CAT Yogyakarta-Sleman menjadi kajian yang menarik. Kajian yang menarik pada pembahasa ini salah satunya adalah faktor apakah yang dominan berpengaruh terhadap penurunan muka airtanah. Kajian yang menilai faktor apa saja yang dominan terhadap penurunan muka airtanah masih jarang dilakukan. Kajian dalam penelitian ini menggunakan hubungan statistik antara faktor dan parameter yang mempengaruhi perubahan muka airtanah.

Metode statistik tersebut menjadi salah satu bagian penting dalam pemilihan prioritas pengelolaan masalah penurunan muka airtanah (Lee et al., 2019; Yan et al., 2018). Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis parameter yang mempengaruhi adanya perubahan muka airtanah dan menentukan faktor yang paling berpengaruh terhadap terjadinya perubahan muka airtanah di CAT Yogyakarta-Sleman.

CAT Yogyakarta-Sleman secara administrasi terletak pada Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta, dan Kabupaten Bantul (Gambar 1). Secara absolut CAT Yogyakarta-Sleman terletak pada koordinat 420000-450000 mT dan 9110000-9160000 mU. CAT Yogyakarta-Sleman memiliki luasan sebesar 916,85 km². CAT Yogyakarta-Sleman memiliki memiliki batas horizontal dan vertikal. Batas horizontal terdiri atas H1 (*External Zero-Flow Boundary*), H2 (*Groundwater Divide*),

H3 (*External Head-Controlled Boundary*), dan H5 (*Outflow Boundary*), sedangkan untuk batas vertikal terdiri dari V1 (*Free Surface Boundary*), V2 (*Internal Head-Controlled Boundary*), dan V3 (*Internal Zero-Flow Boundary*) (Hendrayana & Vicente, 2013).

CAT Yogyakarta memiliki curah hujan berkisar 2.000-3.000 mm/tahun dan termasuk pada zona iklim Oldeman B2,C2 dan C3 (Wredaningrum, 2014) . CAT Yogyakarta terdiri atas formasi geologi Endapan Gunungapi Merapi Muda (Qmi) yang terdiri atas tuf,abu, breksi, aglomerat, dan leleran lava tak terpisahan (Rahardjo et al., 1995) . Secara regional CAT Yogyakarta-Sleman termasuk dalam akuifer produktivitas tinggi (Djaeni, 1985).

METODE PENELITIAN

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara berupa *GPS (Global Positioning System)* untuk menentukan koordinat lokasi sumur dan mataair, meteran untuk pengukuran kedalaman muka airtanah, *Arc GIS 10.4* untuk memetakan perubahan muka airtanah, *SPSS 20 (Statistical Product and Service Solutions)* untuk menguji korelasi dan faktor dominan penyebab penurunan muka airtanah. Bahan yang digunakan berupa Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) lembar Yogyakarta skala 1:25.000, Peta Geologi Regional Yogyakarta skala 1:100.000, dan pustaka. Data primer berupa pengukuran kedalaman muka airtanah dan elevasi mataair tahun 2011 dan 2015 . Data sekunder berupa data sumur pantau, curah hujan, transmisivitas, tutupan lahan, jumlah sumur bor, dan tingkat pemanfaatan airtanah di daerah penelitian. Data sebaran sumur bor diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan, dan Energi Sumber Daya Mineral DI Yogyakarta (Gambar 2). Data curah hujan diperoleh dari Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) Yogyakarta tahun 2011-2015. Data transmisivitas diperoleh dari (Tim Fakultas Teknik UGM, 2011). Data pemanfaatan airtanah diperoleh dari Hendrayana & Vicente, (2013) . Data penggunaan lahan menggunakan klasifikasi yang dilakukan oleh Putra and Indrawan, (2014).

Muka airtanah akuifer bagian atas diolah menggunakan data elevasi Digital Elevation Model (DEM) dikurangi dengan kedalaman airtanah pada tahun 2011 dan tahun 2015 . Akuifer bagian atas merupakan jenis akuifer bebas yang secara umum terbentuk oleh endapan dari Formasi Yogyakarta. Jumlah sumur yang di ukur sejumlah ± 800 dengan jarak antar sumur ± 2 km. (Gambar 3). Analisis dilakukan dengan mengurangi kedalaman muka airtanah akuifer bagian atas tahun 2011 dengan tahun 2015 menggunakan software Arc GIS. Kedalaman muka airtanah akuifer bagian bawah diolah menggunakan data 16 sumur pantau pada tahun 2011 dan tahun 2015. Akuifer bagian bawah merupakan akuifer tipe semi bebas yang terdiri dari endapan kerikil pasiran, pasir sedang-pasir kasar berkerakal, pasir lempungan, dan breksi laharik (Gambar 4). Data sumur pantau diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan, dan Energi Sumber Daya Mineral DI Yogyakarta berupa pengukuran muka airtanah bulanan pada ± 16 sumur (Gambar 5).

Analisis dilakukan dengan mengurangi kedalaman muka airtanah akuifer bagian bawah tahun 2011 dengan tahun 2015 menggunakan software Arc GIS. Tahap selanjutnya adalah mengolah hasil perubahan muka airtanah akuifer bagian atas dan bawah dengan parameter curah hujan, transmisivitas, tutupan lahan dan tingkat pemanfaatan air

tanahairtanah. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *software SPSS dengan analisis korelasi dan regresi* untuk mengetahui faktor yang dominan berpengaruh terhadap muka airtanah dan hubungan antar parameter . Data yang digunakan analisis statistik berbasis pada zonasi baik muka airtanah, curah hujan, transmisivitas, penggunaan lahan, tingkat pemanfaatan airtanah, dan jumlah sumur bor. Semua data tersebut dilakukan uji linieritas, normalitas, heteroskedasitas, dan multikolinieritas sebelum analisis statistik . Metode korelasi yang digunakan adalah *Pearson Product Moment (Persamaan 1)*. Hasil analisis korelasi *Pearson Product Moment bernilai lemah apabila mendekati 0 dan bernilai kuat mendekati 1* (Widiyanto, 2013).

Metode regresi yang digunakan yaitu metode *backward* dan *stepwise*. Kedua metode tersebut digunakan untuk mendapatkan hubungan antar variabel yang signifikan. Hasil regresi metode *backward* dan *stepwise* berupa faktor dominan diperoleh dari nilai uji F dan t. Apabila nilai F hitung lebih kecil sama dengan F tabel maka tidak memiliki pengaruh signifikan (regresi tidak berarti dan tidak dapat digunakan untuk memprediksi), sebaliknya apabila nilai F hitung lebih besar dari pada F tabel maka memiliki pengaruh signifikan. Hasil nilai F yang pengaruh signifikan kemudian dilanjutkan dengan uji t. Apabila t hitung lebih besar dibandingkan t tabel (berpengaruh), sebaliknya t hitung lebih kecil sama dengan t tabel (tidak berpengaruh). Hasil akhir penelitian ini berupa peta penurunan muka airtanah pada akuifer bagian atas dan bawah. Hasil lainnya berupa hasil uji korelasi dan regresi parameter yang menyebabkan penurunan muka airtanah di CAT Yogyakarta-Sleman.

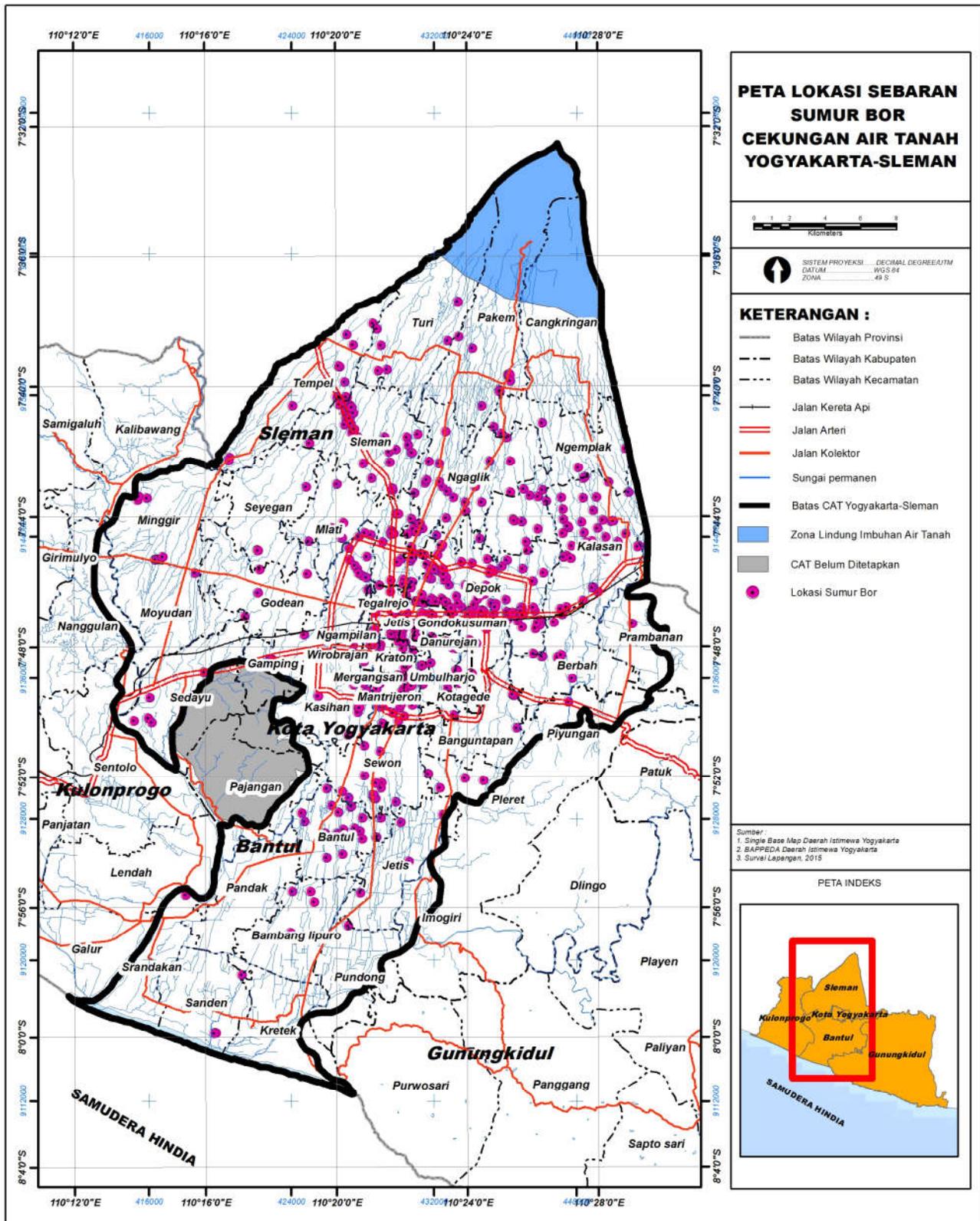
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil uji korelasi variabel yang memiliki hubungan korelasi positif terhadap perubahan muka airtanah akuifer bagian atas adalah curah hujan dan transmisivitas (Tabel 1). Variabel curah hujan dan transmisivitas memiliki korelasi yang positif. Kenaikan nilai dari kedua variabel tersebut akan menyebabkan peningkatan nilai perubahan muka airtanah akuifer bagian atas dan sebaliknya. Variabel yang memiliki hubungan korelasi negatif terhadap perubahan muka airtanah akuifer bagian atas adalah tingkat pemanfaatan dan tutupan lahan. Variabel pemanfaatan dan tutupan lahan memiliki korelasi negatif yang berarti kenaikan dua parameter tersebut menyebabkan penurunan nilai perubahan muka airtanah akuifer bagian atas . Hasil nilai koefisien korelasi semua variabel bebas memiliki nilai signifikansi yang signifikan kecuali variabel transmisivitas (*Sig. (2-tailed)*) yang mana terdapat nilai signifikansi yang $<0,05$ atau $<0,01$ (Tabel 1). Parameter tingkat pemanfaatan dan hujan memiliki nilai sig $<0,05$ (Tabel 2) sehingga model regresi termasuk signifikan dan memenuhi kriteria linieritas.

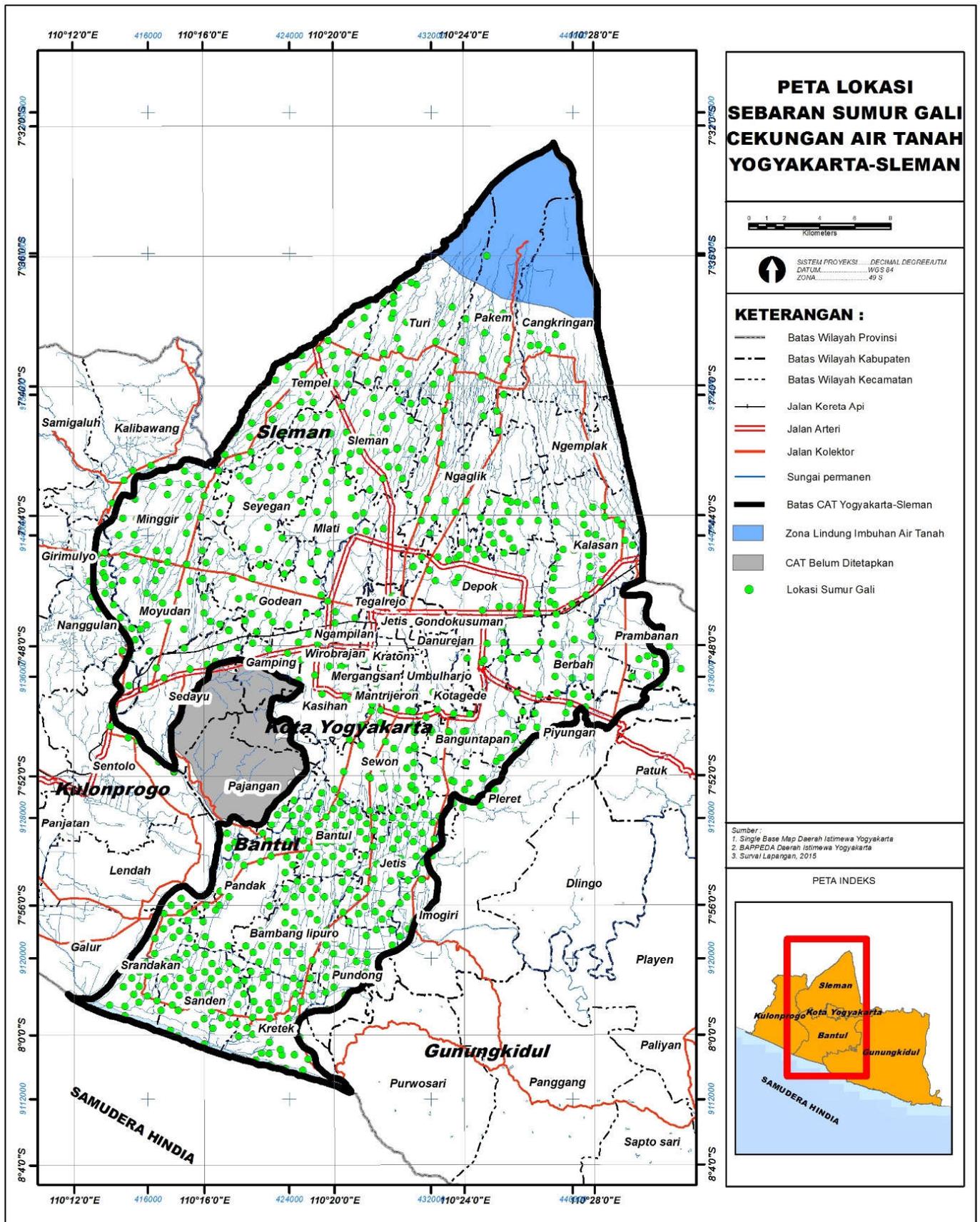
Variabel transmisivitas tidak memiliki hubungan yang berarti terhadap perubahan muka airtanah akuifer bagian atas. Transmisivitas bergantung pada jenis litologi batuan (faktor alam) yang berperan sebagai wadah/tempat airtanah, sehingga tidak berpengaruh pada naik turunnya muka airtanah. Variabel curah hujan, tingkat pemanfaatan dan tutupan lahan memiliki hubungan yang berarti karena variabel-variabel tersebut merupakan variabel yang mempengaruhi perubahan muka airtanah akuifer bagian atas. Berdasarkan nilai R^2 (koefisien determinasi) variabel yang memiliki pengaruh terbesar sampai terkecil terhadap nilai perubahan

Tabel 1. Hasil analisis korelasi antara curah hujan, tingkat pemanfaatan, transmisivitas dan tutupan lahan terhadap perubahan muka airtanah akuifer bagian atas

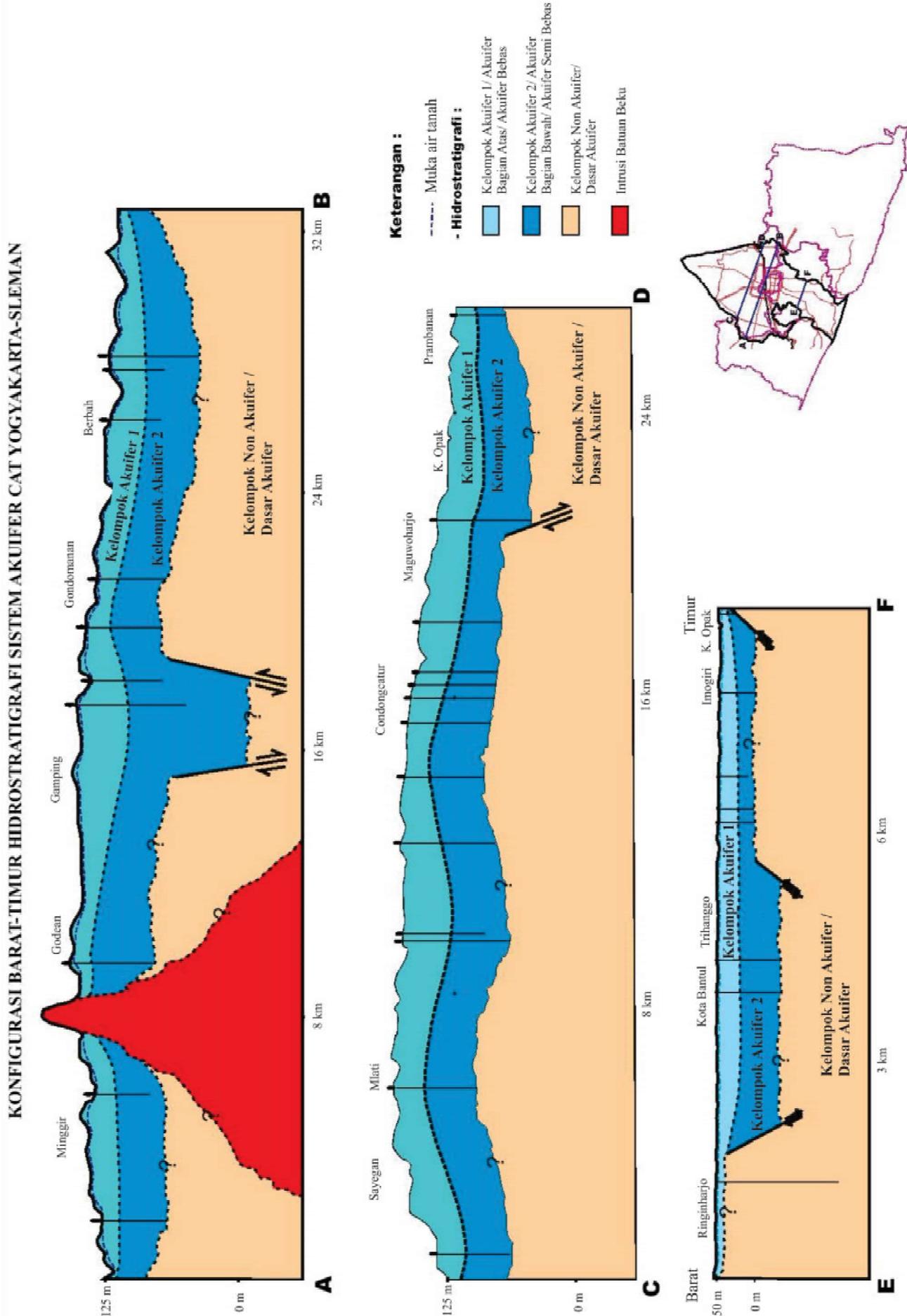
		Curah hujan	Tingkat Pemanfaatan	Transmisivitas	Tutupan Lahan
Perubahan muka airtanah akuifer bagian atas	Pearson/Kendall's Correlation (r)	,191	-,117	,023	-,123
	Sig. (2-tailed)	,000	,001	,411	,001
	R2	,037	,014	,013	,016
	Kontribusi (%)	3,7	1,4	1,3	1,6



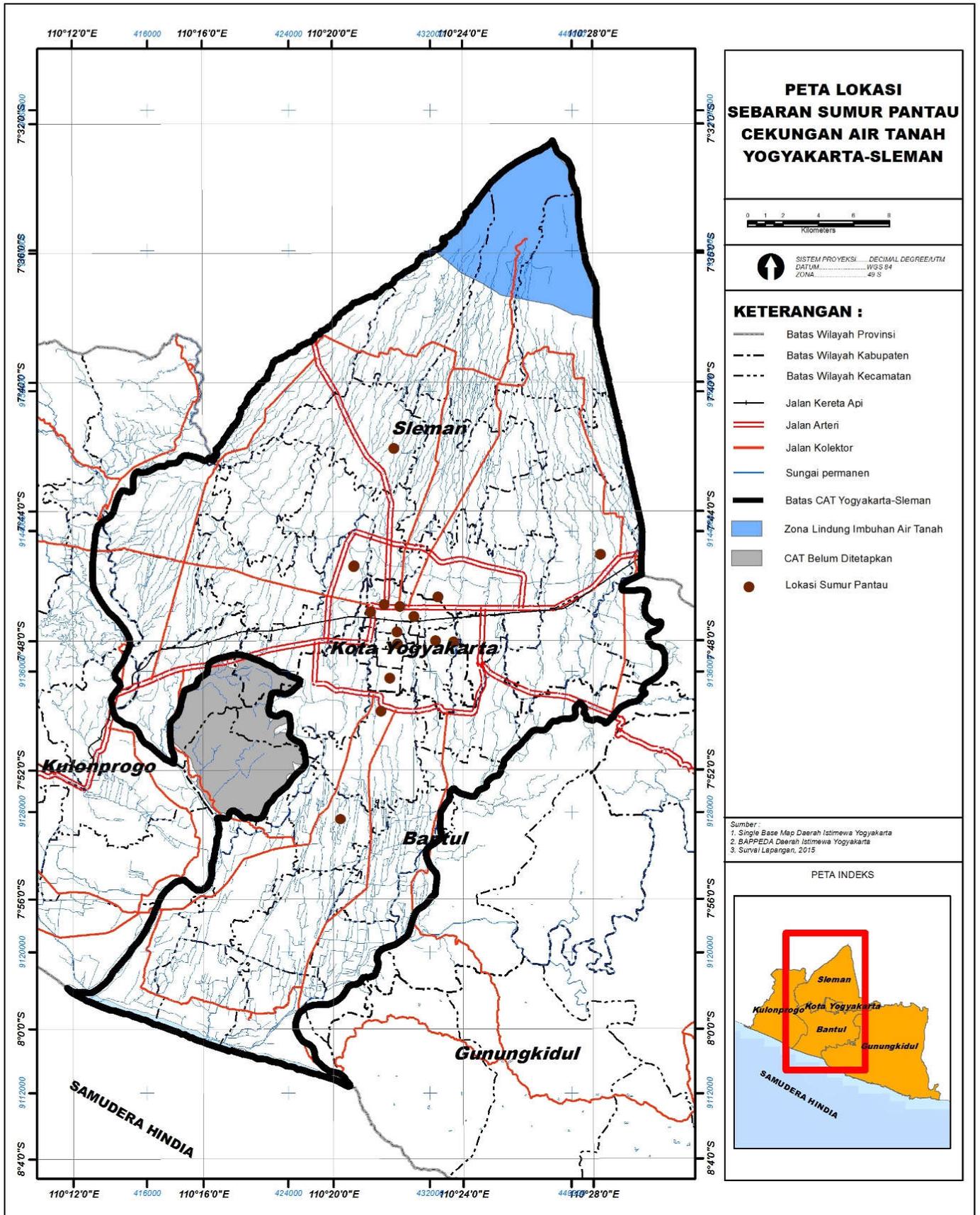
Gambar 2. Peta Sebaran Sumur Bor
 Sumber: (Tim Fakultas Teknik UGM, 2011) dan Survei Lapangan 2011 dan 2015



Gambar 3. Peta Sebaran Sumur Dangkal
 Sumber: (Tim Fakultas Teknik UGM, 2011) dan Survei Lapangan 2011 dan 2015



Gambar 4. Sebagian Hidrostratigrafi CAT Yogyakarta-Sleman
Sumber: (Tim Fakultas Teknik UGM, 2011)



Gambar 5. Peta Sebaran Sumur Pantau
Sumber: (Tim Fakultas Teknik UGM, 2011)

Tabel 2. ANOVA regresi antara curah hujan, tingkat pemanfaatan, transmisivitas dan tutupan lahan terhadap perubahan muka airtanah akuifer bagian atas dengan metode *backward* dan *stepwise*.

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Metode <i>Backward</i>						
1	Regression	10,793	2	5,396	15,044	,000 ^b
	Residual	272,965	761	,359		
	Total	283,758	763			
Metode <i>Stepwise</i>						
2	Regression	10,385	1	10,385	28,947	,000 ^c
	Residual	273,373	762	,359		
	Total	283,758	763			

a. *Dependent Variable*: Perubahan muka airtanah akuifer bagian atas
b. *Predictors*: (Constant), Tingkat Pemanfaatan, Hujan
c. *Predictors*: (Constant), Hujan

Tabel 3. Model Summary regresi antara curah hujan, tingkat pemanfaatan, transmisivitas dan tutupan lahan terhadap perubahan muka airtanah akuifer bagian atas dengan metode *backward* dan *stepwise*.

Model	R	R ²	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
Metode <i>Backward</i>					
1	,195 ^b	,038	,036	,59891	1,835
Metode <i>Stepwise</i>					
2	,191 ^c	,037	,035	,59896	1,835

a. *Dependent Variable*: Perubahan muka airtanah akuifer bagian atas
b. *Predictors*: (Constant), Tingkat Pemanfaatan, Hujan
c. *Predictors*: (Constant), Hujan

Tabel 4. Coefficients regresi antara curah hujan, tingkat pemanfaatan, transmisivitas dan tutupan lahan terhadap perubahan muka airtanah akuifer bagian atas dengan metode *backward* dan *stepwise*.

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
Metode <i>Backward</i>						
1	(Constant)	,158	,080		1,976	,048
	Hujan	,133	,030	,173	4,398	,000
	Tingkat_Pemanfaatan	-,145	,136	-,042	-1,066	,287
Metode <i>Stepwise</i>						
2	(Constant)	,097	,056		1,732	,084
	Hujan	,147	,027	,191	5,380	,000

a. *Dependent Variable*: Perubahan muka airtanah akuifer bagian atas

muka airtanah akuifer bagian atas yaitu (1)curah hujan -- (2) tutupan lahan -- (3)tingkat pemanfaatan -- (4) transmisivitas. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian (Cai & Offerdinger, 2016; Abiye et al., 2018) bahwa terdapat pengaruh langsung hujan dengan perubahan muka airtanah. Penambahan jumlah penduduk berbanding lurus dengan meningkatnya penggunaan airtanah sehingga berpengaruh terhadap penurunan muka airtanah (Yar, 2020; Nath et al., 2021) . Selain itu, perubahan penggunaan lahan sangat berpengaruh terhadap perubahan muka airtanah (Mustafa et al., 2017; Han et al., 2020) .

Hasil *model summary* menunjukkan nilai korelasi (R) memiliki nilai 0,195^b dan 0.191^c yang berarti hubungan

kedua parameter tersebut dengan perubahan muka airtanah bagian atas termasuk kategori kuat (Tabel 3). Nilai koefisien determinasi (R²) tabel 3 diperoleh menunjukkan nilai 0,038 dan 0,037 yang termasuk dalam klasifikasi signifikan. Analisis regresi linier berganda dengan menggunakan metode *backward* dan *stepwise* menunjukkan hubungan yang signifikan antara curah hujan dan tingkat pemanfaatan terhadap perubahan muka air tanahairtanah akuifer bagian atas. Variabel transmisivitas dan tutupan lahan tidak menunjukkan nilai yang signifikan. Hasil metode *backward* dan *stepwise* signifikan karena memiliki nilai signifikansi <0,05. Hasil analisis regresi dengan menggunakan metode *backward* dan *stepwise* diperoleh 1 model regresi terbaik ditunjukkan persamaan 1

Tabel 5 . Hasil analisis korelasi antara curah hujan, tingkat pemanfaatan, jumlah sumur bor, transmisivitas dan tutupan lahan terhadap perubahan muka airtanah akuifer bagian bawah.

		Curah hujan	Tingkat Pemanfaatan	Sumur Bor	Transmisivitas	Tutupan Lahan
Perubahan muka airtanah akuifer bagian bawah	<i>Pearson/Kendall's Correlation (r)</i>	-,092	,388	-,101	-,168	,038
	<i>Sig. (2-tailed)</i>	,026	,000	,015	,000	,254
	R2	,008	,150	,010	,030	,003
	Kontribusi (%)	0,8	15	1	3	0,3

Tabel 6 . ANOVA regresi antara curah hujan, tingkat pemanfaatan, transmisivitas, tutupan lahan dan jumlah sumur bor terhadap perubahan muka airtanah akuifer bagian bawah dengan metode *backward* dan *stepwise*

Model		<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	F	<i>Sig.</i>
<i>Metode Backward</i>						
1	Regression	57,434	3	19,145	52,216	,000 ^b
	Residual	214,488	585	,367		
	Total	271,922	588			
<i>Metode Stepwise</i>						
2	Regression	40,834	1	40,834	103,726	,000 ^c
	Residual	231,087	587	,394		
	Total	271,922	588			
3	Regression	56,130	2	28,065	76,213	,000 ^d
	Residual	215,792	586	,368		
	Total	271,922	588			

a. *Dependent Variable:* Perubahan muka airtanah akuifer bagian bawah
b. *Predictors:* (Constant), Sumur Bor, Tingkat Pemanfaatan, Hujan
c. *Predictors:* (Constant), Tingkat Pemanfaatan
d. *Predictors:* (Constant), Tingkat Pemanfaatan, Hujan

dan 2. Nilai model diperoleh dari *Unstandardized Coefficients* (B) baik dari constant dan koefisien variabel. Model yang terbaik adalah persamaan 1 yang memiliki koefisien korelasi tertinggi (B) atau nilai signifikansi terkecil (Sig).

Hasil *model summary* menunjukkan nilai korelasi (R) memiliki nilai 0,195^b dan 0,191^c yang berarti hubungan kedua parameter tersebut dengan perubahan muka airtanah bagian atas termasuk kategori kuat (Tabel 3). Nilai koefisien determinasi (R^2) tabel 3 menunjukkan nilai 0,038 dan 0,037 yang termasuk dalam klasifikasi signifikan. Analisis regresi linier berganda dengan menggunakan metode *backward* dan *stepwise* menunjukkan hubungan yang signifikan antara curah hujan dan tingkat pemanfaatan terhadap perubahan muka airtanah akuifer bagian atas. Variabel transmisivitas dan tutupan lahan tidak menunjukkan nilai yang signifikan. Hasil metode *backward* dan *stepwise* signifikan karena memiliki nilai signifikansi <0,05. Hasil analisis regresi dengan menggunakan metode *backward* dan *stepwise* diperoleh 1 model regresi terbaik ditunjukkan persamaan 1 dan 2. Nilai model diperoleh dari *Unstandardized Coefficients* (B) baik dari constant dan koefisien variabel. Model yang terbaik adalah persamaan 1 yang memiliki koefisien korelasi tertinggi (B) atau nilai signifikansi terkecil (Sig).

$$Y = 0,158 + 0,133X_1 - 0,145X_2 \text{ (metode backward)} \quad (1)$$

$$Y = 0,097 + 0,147X_1 \text{ (metode stepwise)} \quad (2)$$

Keterangan :

Y : Perubahan muka airtanah akuifer bagian atas

X1: Curah hujan

X2: Tingkat pemanfaatan

Variabel yang memiliki hubungan korelasi positif terhadap perubahan muka airtanah akuifer bagian bawah yaitu tingkat pemanfaatan dan tutupan lahan (Tabel 5). Variabel yang memiliki hubungan korelasi negatif terhadap perubahan muka airtanah akuifer bagian bawah yaitu curah hujan, jumlah sumur bor, dan transmisivitas Tabel 5 (Sig. (2-tailed)). Hasil analisis korelasi antara perubahan muka airtanah akuifer bagian bawah dengan variabel bebas menunjukkan hasil yang berbeda dengan teori yang ada. Hal ini dikarenakan perbedaan variabel terikat (kedalaman akuifer) dan jumlah sampel data. Berdasarkan nilai koefisien korelasi semua variabel bebas memiliki nilai signifikansi yang signifikan kecuali variabel jenis tutupan lahan. Signifikansi pada baris Sig. (2-tailed) yang mana terdapat nilai signifikansi yang <0,05 atau <0,01 (Tabel 5). Korelasi antara curah hujan, tingkat pemanfaatan, jumlah sumur bor dan transmisivitas terhadap perubahan muka airtanah akuifer bagian bawah memiliki nilai sig <0,05 (Tabel 6). Hasil tersebut termasuk signifikan dan memenuhi kriteria linieritas.

Pada hasil analisis korelasi akuifer bagian bawah variabel yang tidak memiliki hubungan yang berarti adalah variabel tutupan lahan, sedangkan pada akuifer bagian atas adalah transmisivitas. Perbedaan tersebut diakibatkan kurangnya sebaran data pengukuran sumur pantau yang hanya berjumlah 16 sumur yang tersebar dominan di Kota Yogyakarta, 2 sumur di Kabupaten Sleman (utara), dan 1 sumur di Kabupaten Bantul (selatan). Hasil analisis akan memiliki hasil yang baik apabila jumlah data yang digunakan semakin banyak dan tersebar merata. Variabel yang memiliki pengaruh terbesar sampai terkecil terhadap nilai perubahan muka airtanah akuifer bagian bawah yaitu (1)tingkat pemanfaatan – (2)transmisivitas -- (3)jumlah sumur bor -- (4)curah hujan -- (5)tutupan lahan (R^2 koefisien determinasi). Hasil *model summary* menunjukkan nilai korelasi (R) memiliki nilai 0,460^b; 0,388^b; dan 0.454^d yang berarti hubungan ketiga parameter tersebut dengan perubahan muka airtanah bagian bawah termasuk kategori kuat (Tabel 7). Nilai koefisien determinasi (R^2) tabel 7

diperoleh nilai 0,211; 0,150; dan 0,206 yang termasuk dalam klasifikasi signifikan .

Berdasarkan analisis regresi linier berganda dengan menggunakan metode *backward* dan *stepwise* maka diperoleh beberapa persamaan atau model regresi yang menunjukkan hubungan signifikan antara curah hujan, jumlah sumur bor dan tingkat pemanfaatan terhadap perubahan muka airtanah akuifer bagian bawah. Variabel transmisivitas dan tutupan lahan tidak memiliki persamaan regresi dikarenakan tidak memiliki signifikansi pada pengujian variabel secara bersama-sama. Berdasarkan hasil analisis regresi dengan menggunakan metode *backward* maka diperoleh 1 model regresi (persamaan 3) yang dikatakan signifikan karena memiliki nilai signifikansi <0,05 (Tabel 8),. Sedangkan berdasarkan hasil analisis regresi dengan menggunakan metode *stepwise* diperoleh 2 model regresi (persamaan 4 dan 5) terbaik yaitu model 2 dan 3. Model yang paling signifikan adalah persamaan 3 karena memiliki koefisien korelasi tertinggi atau dengan nilai signifikansi terendah.

Tabel 7. *Model Summary* regresi antara curah hujan, tingkat pemanfaatan, transmisivitas, tutupan lahan dan jumlah sumur bor terhadap perubahan muka airtanah akuifer bagian bawah dengan metode *backward* dan *stepwise*.

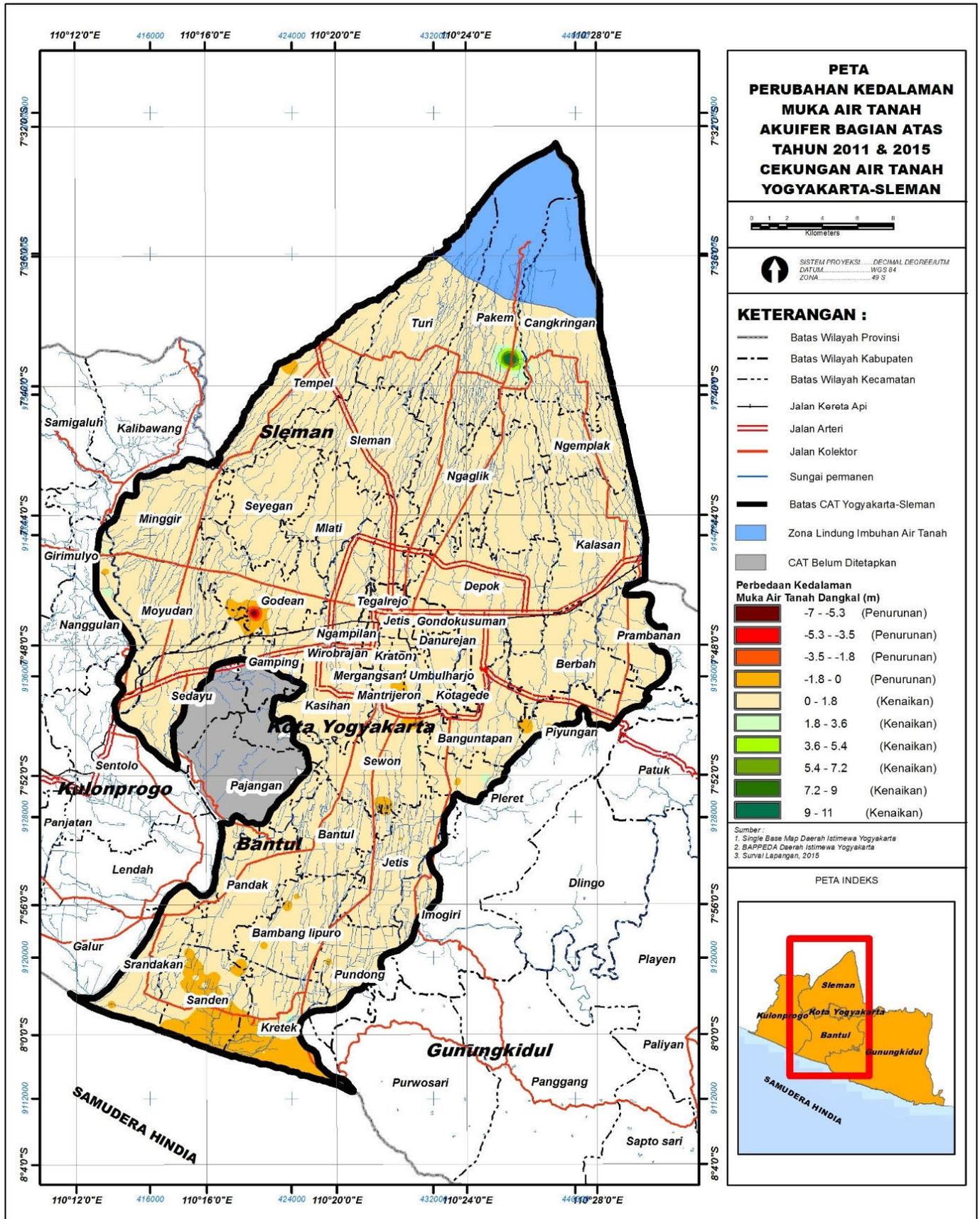
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
<i>Metode Backward</i>					
1	,460 ^b	,211	,207	,60551	,255
<i>Metode Stepwise</i>					
2	,388 ^c	,150	,149	,62744	
3	,454 ^d	,206	,204	,60683	,251

a. *Dependent Variable:* Perubahan muka airtanah akuifer bagian bawah
b. *Predictors:* (Constant), Sumur Bor, Tingkat Pemanfaatan, Hujan
c. *Predictors:* (Constant), Tingkat Pemanfaatan
d. *Predictors:* (Constant), Tingkat Pemanfaatan, Hujan

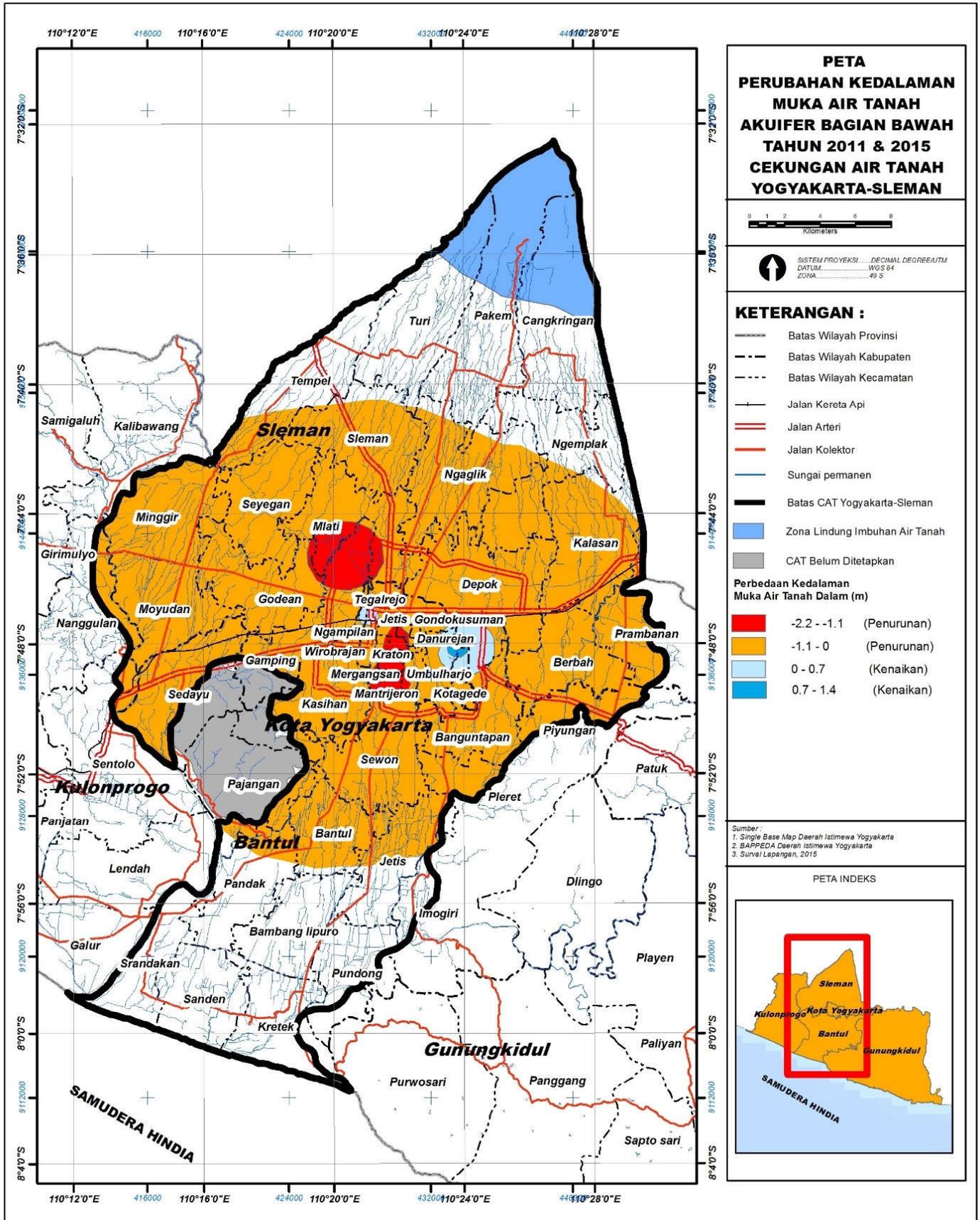
Tabel 8 . *Coefficients* regresi antara curah hujan, tingkat pemanfaatan, transmisivitas, tutupan lahan dan jumlah sumur bor terhadap perubahan muka airtanah akuifer bagian bawah dengan metode *backward* dan *stepwise*.

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
<i>Metode Backward</i>						
1	(Constant)	-,420	,140		-2,989	,003
	Hujan	-,399	,067	-,238	-5,993	,000
	Tingkat_Pemanfaatan	4,827	,401	,470	12,043	,000
	Sumur_Bor	-,012	,006	-,071	-1,886	,060
<i>Metode Stepwise</i>						
2	(Constant)	-1,242	,059		-21,234	,000
	Tingkat_Pemanfaatan	3,978	,391	,388	10,185	,000
3	(Constant)	-,412	,141		-2,931	,004
	Tingkat_Pemanfaatan	4,854	,401	,473	12,091	,000
	Hujan	-,423	,066	-,252	-6,445	,000

a. *Dependent Variable:* Perubahan muka airtanah akuifer bagian bawah



Gambar 7. Peta Perubahan Muka Airtanah Akuifer Bagian Atas CAT Yogyakarta-Sleman.
 Sumber: Hasil Olah (2020)



Gambar 8. Peta Perubahan Muka Airtanah Akuifer Bagian Bawah CAT Yogyakarta-Sleman. Sumber: Hasil Olah (2020)

$$Y = -0,420 - 0,399X_1 + 0,012X_3 \text{ (metode backward)} \quad (3)$$

$$Y = -1,242 + 3,978X_2 \text{ (metode stepwise)} \quad (4)$$

$$Y = -0,412 + 0,423X_1 + 4,854X_2 \text{ (metode stepwise)} \quad (5)$$

Keterangan :

Y : Perubahan muka airtanah akuifer bagian bawah

X1: Curah hujan

X2: Tingkat pemanfaatan

X3: Jumlah sumur bor

Pada model regresi (persamaan 3, 4 dan 5) tersebut terlihat bahwa semakin besar nilai tingkat pemanfaatan airtanah maka perubahan nilai muka airtanah akuifer bagian bawah akan naik. Nilai jumlah curah hujan meningkat maka perubahan muka airtanah akuifer bagian bawah akan menurun. Kedalaman sumur pantau (akuifer bagian bawah) memiliki kedalaman yang lebih dalam jika dibandingkan dengan kedalaman sumur gali (akuifer bagian atas). Oleh karena itu jumlah curah hujan tidak langsung mempengaruhi perubahan muka airtanah akuifer bagian bawah. Hal tersebut dikarenakan adanya waktu jeda yang digunakan air hujan untuk dapat masuk ke dalam muka airtanah akuifer bagian bawah. Faktor tingkat pemanfaatan airtanah diperoleh data total pemanfaatan airtanah bagian atas dan bawah, sehingga data tersebut kurang baik untuk memprediksi perubahan muka airtanah akuifer bagian bawah.

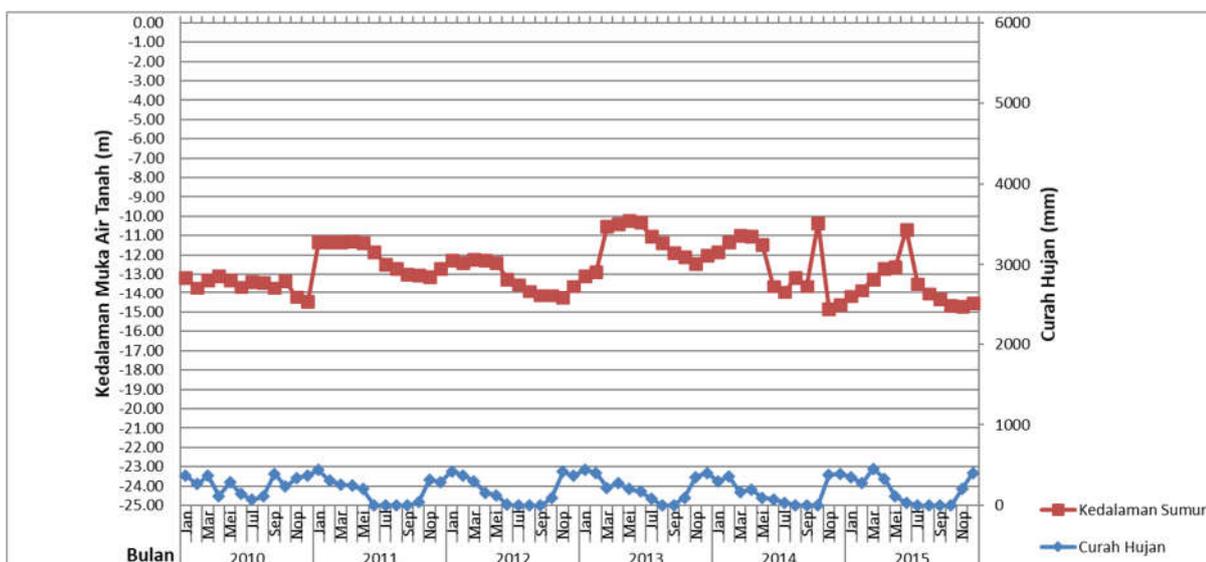
Pada model regresi persamaan 3 terdapat parameter yang memiliki hubungan sebab-akibat secara langsung walaupun memiliki nilai koefisien korelasi yang lemah yaitu parameter jumlah sumur bor. Pada model regresi tersebut dapat dijelaskan bahwa semakin besar nilai jumlah sumur bor maka semakin besar juga penurunan muka airtanah akuifer bagian bawah. Hal ini disebabkan oleh variabel jumlah sumur bor merupakan variabel yang hanya mempengaruhi perubahan muka airtanah akuifer bagian bawah (sumur bor merupakan sumur dalam). Parameter dan model regresi tersebut dapat digunakan untuk memprediksi perubahan muka airtanah akuifer bagian bawah secara langsung. Hasil analisis korelasi dan regresi pada variabel-variabel bebas akuifer bagian bawah tidak cukup baik dalam memprediksi

hubungan sebab-akibat. Hal tersebut disebabkan oleh pemilihan variabel bebas yang kurang relevan dan jumlah sampel data. Akan tetapi model regresi masih bisa memprediksi perubahan muka airtanah akuifer bagian bawah secara langsung yaitu dengan parameter jumlah sumur bor. Semakin banyak jumlah sumur bor menyebabkan penurunan muka airtanah akuifer bagian bawah. Parameter jumlah sumur bor ini juga mempengaruhi tingkat pemanfaatan airtanah.

Perubahan muka airtanah pada akuifer bagian atas daerah penelitian memiliki kedalaman antara -7 – 11 m (Gambar 7). Nilai negatif menunjukkan daerah tersebut mengalami penurunan muka airtanah, sedangkan nilai positif menunjukkan daerah tersebut mengalami kenaikan muka airtanah. Kenaikan muka airtanah tertinggi terjadi di sebagian Kecamatan Pakem dengan nilai kenaikan sebesar 1,8-11 m. Muka airtanah mengalami penurunan di sebagian Kabupaten Bantul yaitu Kecamatan Sanden, Kretek, Sewon, Piyungan, Godean dan Mantriweron (Kota Yogyakarta) dengan nilai penurunan 0-1,8 meter. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian yang lebih detail bahwa beberapa wilayah Kota Yogyakarta mengalami penurunan muka airtanah berkisar 0-9 meter (Manny et al., 2017). Penurunan muka airtanah terbesar terjadi di sebagian Kecamatan Godean dengan nilai penurunan 1,8-7 m. Kenaikan muka airtanah terjadi di sebelah Utara dan penurunan muka airtanah terjadi di sebelah Barat dan Selatan. Pola tersebut disebabkan konfigurasi akuifer bagian Utara memiliki tebal akuifer yang sangat tebal dan semakin menipis kearah tepi (Barat) maupun kearah pantai (Selatan)(Hendrayana & Vicente, 2013).

Perubahan kedalaman muka airtanah pada akuifer bagian bawah daerah penelitian memiliki kedalaman antara -2,2 – 1,4 m (Gambar 8). Sebagian besar daerah penelitian mengalami penurunan muka airtanah sekitar 0-1,1 m. Penurunan muka airtanah tertinggi terjadi di sebagian Kecamatan Mlati, Gamping, Kraton, Mergangsan, Gondomanan, Danurejan dan Mantriweron sebesar 1,1-2,2 m. Kenaikan muka airtanah terjadi di sebagian Kecamatan Tegalrejo, Banguntapan, Kotagede dan Umbulharjo sebesar 0 -0,7 meter. Kenaikan muka airtanah terbesar terjadi di

Gambar 9. Contoh Grafik Perubahan Muka Airtanah Pada Sumur Pantau Kompleks Kepatihan Tahun 2010-2015.
Sumber: Hasil Olah (2020)



sebagian Kecamatan Banguntapan, Kotagede dan Umbulharjo dengan nilai sebesar 0,7-1,4 m. Kenaikan muka airtanah tersebut diperkuat dari penelitian (Manny et al., 2017) di Kota Yogyakarta terjadi kenaikan muka airtanah 0-10 meter akibat urban recharge dan sewers leakage (Wilopo et al., 2021). Selain itu faktor curah hujan yang tinggi dan banjir juga berpengaruh terhadap kenaikan mukaairtanah (Li et al., 2020; Qi et al., 2018). Selain itu di Mesir terjadi kenaikan muka airtanah akibat penambahan recharge (Selim et al., 2014).

Hasil interpolasi penurunan muka airtanah akuifer bagian bawah tidak mencakup keseluruhan wilayah karena sebaran data sumur pantau tidak merata (Gambar 4). Keterbatasan sebaran data berakibat pada terbatasnya hasil interpolasi (Ohmer et al., 2017). Data sebaran sumur bor dari ijin usaha (Gambar 2) tidak digunakan karena tidak memiliki pemantauan secara *time-series*. Pemantauan muka airtanah secara *time-series* akan memberikan gambaran yang lebih akurat dan detail tentang perubahan muka airtanah (Gambar 9). Selain itu perlu dibuat rencana penambahan sumur pantau untuk akuifer dalam yang lebih merata di masa yang akan datang. Distribusi sumur pantau perlu ditambah hingga pesisir, hulu, dan di batas CAT Yogyakarta-Sleman. Distribusi merata sumur pantau pada hulu, pesisir, dan batasan area kajian kajian memberikan hasil yang signifikan di beberapa tempat (Dahlhaus et al., 2010; Cui et al., 2018; Jiao et al., 2008) Selain itu perlu mempertimbangkan jarak antar sumur pantau sehingga diperoleh hasil interpolasi sumur dalam yang baik dan merata. Beberapa contoh distribusi sumur pantau setiap grid 5 km² diaplikasikan di Meksiko (Júnez-Ferreira et al., 2019) dan di India (Magfirwar & Umrikar, 2011).

KESIMPULAN

Parameter yang berpengaruh pada perubahan muka airtanah di CAT Yogyakarta-Sleman terbagi menjadi 2 bagian yaitu, parameter yang memiliki pengaruh terbesar sampai terkecil terhadap perubahan muka airtanah akuifer bagian atas adalah curah hujan – tutupan lahan – tingkat pemanfaatan airtanah – transmisivitas. Parameter yang memiliki pengaruh terbesar sampai terkecil terhadap perubahan muka airtanah akuifer bagian bawah adalah tingkat pemanfaatan airtanah – transmisivitas – jumlah sumur bor – curah hujan – tutupan lahan. Faktor yang paling berpengaruh terhadap perubahan muka airtanah di CAT Yogyakarta-Sleman dapat dibagi menjadi 2 yaitu, faktor yang paling berpengaruh pada akuifer bagian atas adalah curah hujan, sementara .faktor yang paling berpengaruh pada akuifer bagian bawah adalah jumlah sumur bor. Penelitian ini dapat ditingkatkan hasil akurasi statistiknya apabila keseluruhan parameter memiliki kesamaan bentuk berupa nilai (bukan berupa zonasi). Selain itu hasil analisis muka airtanah akuifer bagian bawah dapat menjadi lebih akurat apabila sebaran data sumur pantau tersebar merata di CAT Yogyakarta-Sleman.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Pemerintah Daerah Istimewa Yogyakarta atas ijin dan data yang diberikan. Selain itu ucapan terimakasih kami sampaikan kepada Dinas Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat dan Energi Sumber Daya Mineral Provinsi DI Yogyakarta atas kerjasama dalam kajian ini.

KONTRIBUSI PENULIS

Penulis Pertama mendisain penelitian, metode penelitian, analisis data, dan membuat naskah publikasi; Penulis Kedua melakukan survey lapangan, analisis data, interpretasi hasil, dan menulis naskah publikasi, dan Penulis Ketiga menulis naskah publikasi, analisis, dan review naskah publikasi; dan Penulis Keempat melakukan survey lapangan, analisis data, interpretasi hasil, dan menulis naskah publikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abiye, T., Masindi, K., Mengistu, H., & Demlie, M. (2018). Understanding the groundwater-level fluctuations for better management of groundwater resource: A case in the Johannesburg region. *Groundwater for Sustainable Development*, 7, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2018.02.004>
- Ahmed, K., Shahid, S., Demirel, M. C., Nawaz, N., & Khan, N. (2019). The changing characteristics of groundwater sustainability in Pakistan from 2002 to 2016. *Hydrogeology Journal*, 27(7), 2485–2496. <https://doi.org/10.1007/s10040-019-02023-x>
- Cahyadi, A., Riyanto, I. A., Fatchurohman, H., Santosa, S. H. M. B., & Endarto, R. (2020). Indeks Pemakaian Airtanah Di Kota Yogyakarta. *Tunas Geografi*, 9(1), 43. <https://doi.org/10.24114/tgeo.v9i1.17630>
- Cai, Z., & Offerdinger, U. (2016). Analysis of groundwater-level response to rainfall and estimation of annual recharge in fractured hard rock aquifers, NW Ireland. *Journal of Hydrology*, 535, 71–84. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.066>
- Cui, T., Raiber, M., Pagendam, D., Gilfedder, M., & Rassam, D. (2018). Evolution du niveau piézométrique et des relations nappe-rivière en réponse à la variabilité climatique: bassin de Clarence-Moretton (Australie). *Hydrogeology Journal*, 26(2), 593–614. <https://doi.org/10.1007/s10040-017-1653-6>
- Dahlhaus, P. G., Evans, T. J., Nathan, E. L., Cox, J. W., & Simmons, C. T. (2010). Groundwater-level response to land-use change and the implications for salinity management in the West Moorabool River catchment, Victoria, Australia. *Hydrogeology Journal*, 18(7), 1611–1623. <https://doi.org/10.1007/s10040-010-0616-y>
- Djaeni, A. (1985). *Peta Hidrogeologi Indonesia Lembar Yogyakarta, Jawa*.
- Han, Z., Huang, S., Huang, Q., Bai, Q., Leng, G., Wang, H., Zhao, J., Wei, X., & Zheng, X. (2020). Effects of vegetation restoration on groundwater drought in the Loess Plateau, China. *Journal of Hydrology*, 591, 125566. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125566>
- Hendrayana, H., Riyanto, I. A., & Nuha, A. (2020). TINGKAT PEMANFAATAN AIRTANAH DI CEKUNGAN AIRTANAH baku bagi penduduk Kabupaten Sleman , Kota Yogyakarta , dan Kabupaten Bantul (Gambar 1). CAT CAT Yogyakarta-Sleman memiliki material porus yang tersusun atas Formasi Yogyakarta pada bagian atas dan Forma. *Geodika*, 4(2), 127–137. <https://doi.org/10.29408/geodika.v4i2.2643>
- Hendrayana, H., & Vicente, V. A. D. S. (2013). Cadangan Air Tanah Berdasarkan Geometri dan Konfigurasi Sistem Akuifer Cekungan Air Tanah Yogyakarta-Sleman. *Seminar Nasional Kebumihan Ke-6*, 356–370.
- Jiao, J. J., Leung, C. M., & Ding, G. (2008). Changes to the groundwater system, from 1888 to present, in a highly-urbanized coastal area in Hong Kong, China. *Hydrogeology Journal*, 16(8), 1527–1539. <https://doi.org/10.1007/s10040-008-0332-z>
- Júnez-Ferreira, H. E., Herrera, G. S., Saucedo, E., & Pacheco-Guerrero, A. (2019). Influence of available data on the geo-statistical-based design of optimal spatiotemporal groundwater-level-monitoring networks. *Hydrogeology Journal*, 27(4), 1207–1227. <https://doi.org/10.1007/s10040-018-01921-w>
- Kalhor, K., & Emaminejad, N. (2019). Groundwater for Sustainable

- Development Sustainable development in cities: Studying the relationship between groundwater level and urbanization using remote sensing data. *Groundwater for Sustainable Development*, 9(March), 100243. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100243>
- Lee, S., Lee, K. K., & Yoon, H. (2019). Using artificial neural network models for groundwater level forecasting and assessment of the relative impacts of influencing factors. *Hydrogeology Journal*, 27(2), 567–579. <https://doi.org/10.1007/s10040-018-1866-3>
- Li, F., Wang, Y., Zhao, Y., & Qiao, J. (2018). Modelling the response of vegetation restoration to changes in groundwater level, based on ecologically suitable groundwater depth. *Hydrogeology Journal*, 26(7), 2189–2204. <https://doi.org/10.1007/s10040-018-1813-3>
- Li, H., Lu, Y., Zheng, C., Zhang, X., Zhou, B., & Wu, J. (2020). Seasonal and inter-annual variability of groundwater and their responses to climate change and human activities in arid and desert areas: A case study in yaoba oasis, Northwest China. *Water (Switzerland)*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/w12010303>
- Li, X., Li, G., & Zhang, Y. (2014). Identifying major factors affecting groundwater change in the North China plain with grey relational analysis. *Water (Switzerland)*, 6(6), 1581–1600. <https://doi.org/10.3390/w6061581>
- Liu, C.-Y., Chia, Y., Chuang, P.-Y., Chiu, Y.-C., & Tseng, T.-L. (2018). Impacts of hydrogeological characteristics on groundwater-level changes induced by earthquakes Incidences des caractéristiques hydrogéologiques sur les changements du niveau des eaux souterraines induits par des séismes Impactos de las características hidro. *Hydrogeology Journal*, 26(2), 451–465. <https://doi.org/10.1007/s10040-017-1684-z>
- Maggirwar, B. C., & Umrikar, B. N. (2011). Influence of various factors on the fluctuation of groundwater level in hard rock terrain and its importance in the assessment of groundwater. *Journal of Geology and Mining Research*, 3(11), 305–317. https://www.mendeley.com/research/influence-various-factors-fluctuation-groundwater-level-hard-rock-terrain-importance-assessment-grou/?utm_source=desktop&utm_medium=1.16.1&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%257Bb59dc9f4-0eae-4b9a-b1f3-45911a62885b
- Manny, L., Atmaja, R.R.S., and Putra, D. P. E. (2017). Groundwater Level Changes in Shallow Aquifer of Yogyakarta City, Indonesia: Distribution and Causes. *Journal of Applied Geology*, 1(2), 89. <https://doi.org/10.22146/jag.27584>
- Mustafa, S. M. T., Abdollahi, K., Verbeiren, B., & Huysmans, M. (2017). Identification des facteurs influençant la sécheresse et le rabattement des eaux souterraines au nord-ouest du Bangladesh. *Hydrogeology Journal*, 25(5), 1357–1375. <https://doi.org/10.1007/s10040-017-1547-7>
- Nath, B., Ni-Meister, W., & Choudhury, R. (2021). Impact of urbanization on land use and land cover change in Guwahati city, India and its implication on declining groundwater level. *Groundwater for Sustainable Development*, 12, 100500. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100500>
- Ohmer M., Liesch T., Geoppert N., G. N. (2017). On the Optimal Selection of Interpolation Methods for Groundwater Contouring: An Example of Propagation of Uncertainty Regarding Inter-Aquifer Exchange. *Advance in Water Resources*, 109, 121–132.
- Oiro, S., Comte, J. C., Soulsby, C., MacDonald, A., & Mwakamba, C. (2020). Depletion of groundwater resources under rapid urbanisation in Africa: recent and future trends in the Nairobi Aquifer System, Kenya. *Hydrogeology Journal*, 28(8), 2635–2656. <https://doi.org/10.1007/s10040-020-02236-5>
- Putra, D.P.E. and Indrawan, I. G. . (2014). Integrated Assessment of Aquifer Susceptibility Due to Excessive Groundwater Abstraction; A Case Study of Yogyakarta-Sleman Groundwater Basin. *Asean Engineering Journal*, 3(2), 105–116.
- Qi, P., Zhang, G., Xu, Y. J., Wang, L., Ding, C., & Cheng, C. (2018). Assessing the influence of precipitation on shallow groundwater table response using a combination of singular value decomposition and cross-wavelet approaches. *Water (Switzerland)*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/w10050598>
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi., Rosidi, H. M. D. (1995). *Peta geologi lembar Yogyakarta, Jawa*.
- Selim, S. A., Hamdan, A. M., & Rady, A. A. (2014). Groundwater Rising as Environmental Problem, Causes and Solutions: Case Study from Aswan City, Upper Egypt. *Open Journal of Geology*, 04(07), 324–341. <https://doi.org/10.4236/ojg.2014.47025>
- Tim Fakultas Teknik UGM. (2011). *Pemetaan Zonasi Konservasi Air Tanah di Cekungan Air Tanah Yogyakarta-Sleman*.
- Wahyu, Wilopo., Putra, D.P.E., and Heru, H. (2021). Impacts of precipitation , land use change and urban wastewater on groundwater level fluctuation in the Yogyakarta-Sleman Groundwater Basin , Indonesia. *Environ Monit Assess*, 193(76), 1–14. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10661-021-08863-z>
- Widiyanto, M. . (2013). *Statistika Terapan*. Elex Media Komputindo.
- Wredaningrum, I. S. (2014). Analisis Perubahan Zona Agroklimat Daerah Istimewa Yogyakarta Ditinjau Dari Klasifikasi Iklim Menurut Oldeman. *Jurnal Bumi Indonesia*, 3(4), 1–10.
- Yan, S. feng, Yu, S. en, Wu, Y. bai, Pan, D. feng, & Dong, J. gen. (2018). Understanding groundwater table using a statistical model. *Water Science and Engineering*, 11(1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2018.03.003>
- Yar, P. (2020). Urban development and its impact on the depletion of groundwater aquifers in Mardan City, Pakistan. *Groundwater for Sustainable Development*, 11, 100426. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100426>