

Model Inventarisasi Informasi Geospasial Air Tanah Bebas Menggunakan Web GIS

Sadewa Purba Sejati ^{a, 1*}, Wahyu Dwi Setiawan ^a

^a Program studi geografi, fakultas sains dan teknologi, universitas amikom yogyakarta, yogyakarta, indonesia

¹ sadewa@amikom.ac.id*

*korespondensi penulis

Informasi artikel	ABSTRAK
<p><i>Sejarah artikel</i></p> <p>Diterima : 14 Februari 2022</p> <p>Revisi : 24 Mei 2023</p> <p>Dipublikasikan : 31 Mei 2023</p> <p>Kata kunci:</p> <p>Air tanah</p> <p>Inventarisasi</p> <p>Spasial</p> <p>SIG</p> <p>Arc GIS online</p>	<p>Beberapa negara telah menempatkan inventarisasi informasi spasial air tanah di posisi signifikan dalam pengelolaan air tanah. Namun upaya tersebut belum dijumpai di Indonesia. Terbatasnya referensi dimungkinkan menjadi penyebabnya. Penelitian dilakukan untuk mengetahui informasi spasial air tanah sebagai dasar inventarisasi. Penelitian bertujuan pula untuk mengidentifikasi kemampuan Arc GIS <i>online</i> sebagai media inventarisasi informasi spasial air tanah. Sebagai penelitian pendahuluan, Desa Sitimulyo, Kabupaten Bantul, Yogyakarta digunakan sebagai wilayah kajian. Data dikumpulkan melalui survei lapangan. Interpolasi spasial digunakan untuk analisis data. Hasil penelitian menunjukkan bahwa air tanah bebas di daerah penelitian mayoritas berkedalaman 6,7 meter hingga 9,5 meter. Kajian terhadap daya hantar listrik, suhu, dan kebiasaan mengindikasikan pula bahwa kualitas air tanah baik. Arc GIS <i>online</i> mampu digunakan sebagai media inventarisasi informasi air tanah. Aksesibilitas yang mudah, didukung dengan pengelolaan dan pembaruan data yang sederhana menjadi keunggulan Arc GIS <i>online</i>.</p>
<p>Keywords:</p> <p>Groundwater</p> <p>Inventaritation</p> <p>Spatial</p> <p>GIS</p> <p>Arc GIS online</p>	<p>ABSTRACT</p> <p>Several countries have placed groundwater spatial information inventories in a significant position in groundwater management. However, this effort has not been found in Indonesia. This is probably due to limited references. This study aims to determine the spatial information of groundwater as a basis for inventory. The research also aims to identify the capabilities of Arc GIS online as a medium for inventorying groundwater spatial information. As a preliminary study, Sitimulyo Village, Bantul Regency, Special Province of Yogyakarta was used as the study area. Data was collected through field surveys. Spatial interpolation was used for data analysis. Based on the results of the study, it is known that the free groundwater in the majority of the research area is 6.7 to 9.5 meters deep. Studies on electrical conductivity, temperature, and alkalinity also indicate that groundwater quality is good. Arc GIS online can be used as a medium for inventorying groundwater information. Easy accessibility, supported by simple data management and updating, is the advantage of Arc GIS online.</p>

© 2023 (Sadewa Purba Sejati). All Right Reserved

e-mail: geomedia@uny.ac.id

Pendahuluan

Air tanah merupakan komponen geosfer yang relatif dinamis. Kondisi air tanah memiliki dinamika spasial dan temporal. Dinamika air tanah dipengaruhi oleh faktor alam maupun non alam. Perubahan pola dan intensitas curah hujan adalah contoh faktor alami yang berpengaruh terhadap air tanah (Sejati, 2021). Aktivitas sosial dan ekonomi manusia yang berdampak terhadap perubahan penggunaan lahan juga sering dikaitkan dengan dinamika kondisi air tanah (Kim et al., 2020; Masoud et al., 2016; Purwantara et al., 2019; Susanto et al., 2021).

Informasi dinamika air tanah telah digunakan sebagai pijakan dalam pembangunan berkelanjutan. Hal tersebut tentu tidak dapat dilepasakan dari fungsi vital air tanah sebagai penyuplai kebutuhan air bersih. Inventarasi informasi air tanah diperlukan untuk mengetahui gejala perubahan air tanah dan mengantisipasi degradasi air tanah dari segi kuantitas maupun kualitasnya (Neritarani & Sejati, 2021). Inventarisasi dan diseminasi informasi spasial air tanah telah dilakukan oleh beberapa negara. Amerika Serikat melalui program *Groundwater Watch* yang dikelola *United States of Geological Survey* (USGS) (USGS, n.d.), juga Australia melalui *Geoscience Australia* (Geoscience Australia, n.d.) menunjukkan betapa serius dan pentingnya inventarisasi informasi spasial air tanah dalam berbagai level administrasi.

Inventarisasi informasi air tanah yang dicontohkan oleh USGS dan Geoscience Australia dilakukan dengan teknologi informasi terkini. Web GIS (sistem informasi geografis berbasis web) digunakan sebagai media inventarisasi informasi air tanah. Para peneliti terdahulu mengemukakan bahwa Web GIS dapat digunakan sebagai media inventarisasi dan diseminasi informasi air tanah karena kapabilitasnya dalam menyajikan unsur spasial secara interaktif (Balla et al., 2022; Petri et al., 2020; S.P. Sejati & Saputra, 2022). Pembaruan informasi dan integrasi beragam data tematik yang mudah juga menjadi faktor keunggulan Web GIS jika dibandingkan metode inventarisasi konvensional (Loyola et al., 2020; Nesetiril & Sembera, 2014; Stefan & Ansems, 2018). Disamping diseminasi informasi yang mudah dan cepat (Longley, Goddchild et al., 2015), Web GIS sebagai media inventarisasi informasi air tanah

juga memudahkan monitoring jika terdapat gejala penurunan kuantitas maupun kualitas air tanah (Hunter et al., 2016).

Beberapa negara telah menempatkan inventarisasi informasi spasial air tanah di posisi signifikan sebagai upaya monitoring dan pengelolaan air tanah. Namun upaya tersebut belum dijumpai di Indonesia. Peraturan presiden mengenai kebijakan satu peta (*one map policy*) sebenarnya telah disosialisasikan kepada seluruh pimpinan daerah. Kebijakan satu peta tersebut hendaknya menjadi wadah inventarisasi informasi sumber daya alam, termasuk kondisi sumber daya air tanah. Berdasarkan penelusuran penulis (Tabel 1.), kebijakan satu peta yang diterapkan berbagai level administrasi umumnya belum mencakup informasi spasial air tanah. Minimnya inventarisasi informasi spasial air tanah kemungkinan disebabkan karena terbatasnya referensi terkait pemanfaatan Web GIS sebagai media inventarisasi informasi air tanah.

Tabel 1. Hasil penelusuran informasi spasial air tanah dalam berbagai aplikasi satu peta di beberapa wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta

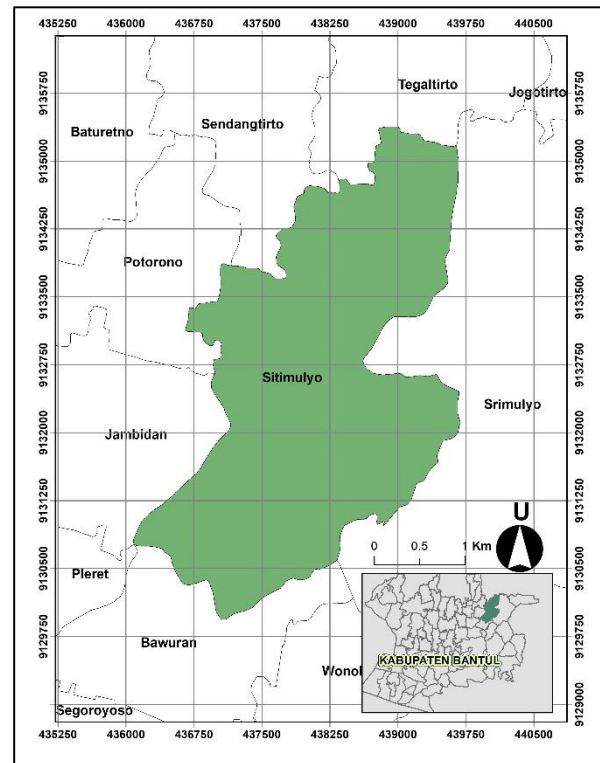
Nama aplikasi	Sumber	Keterangan
Geoportal pemerintah kota yogyakarta	geoportal.jogjakota.go.id	Informasi spasial yang disajikan lebih spesifik ke sarana dan prasarana pemanfaatan air tanah
Sleman regency geoportal	geoportal.slemankab.go.id	Telah terdapat informasi spasial air tanah, namun terbatas pada informasi kawasan CAT (cekungan air tanah) dan posisi mata air, sedangkan informasi spesifik air tanah seperti kedalaman air

		dan kualitas air tidak ada
Geoportal kulon progo	geoportal.kulonprogo.kab.go.id	Tidak ada
Geoportal kabupaten bantul	geoportal.bantul.kab.go.id	Informasi spasial yang disajikan lebih spesifik ke sarana dan prasarana pemanfaatan air tanah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian dilakukan untuk mengetahui informasi spasial air tanah sebagai dasar inventarisasi informasi spasial air tanah di daerah kajian dan mengetahui kemampuan Arc GIS *online* sebagai media inventarisasi informasi spasial air tanah. Sebagai kajian pendahuluan, unit administrasi desa digunakan sebagai daerah penelitian. Hasil kajian diharapkan dapat menambah referensi tentang inventarisasi informasi spasial air tanah.

Metode

Penelitian dilakukan di Desa Sitimulyo, Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul, Yogyakarta. Objek penelitian adalah air tanah bebas. Data penelitian dikumpulkan melalui survei lapangan pada bulan Desember 2021. Data yang dikumpulkan meliputi kedalaman air, daya hantar listrik (DHL), suhu, dan kebasaaan (pH). Data dikumpulkan melalui sumur galian. Lokasi sumur galian ditentukan menggunakan teknik sampling acak (*random sampling*). Kondisi pandemi Covid 19 menjadi kendala penelitian karena tidak setiap penduduk memberikan izin pengumpulan data. Peta daerah penelitian dapat dilihat di [Gambar 1.](#), rincian peralatan yang digunakan untuk mengumpulkan data dapat dilihat di [Tabel 2.](#)

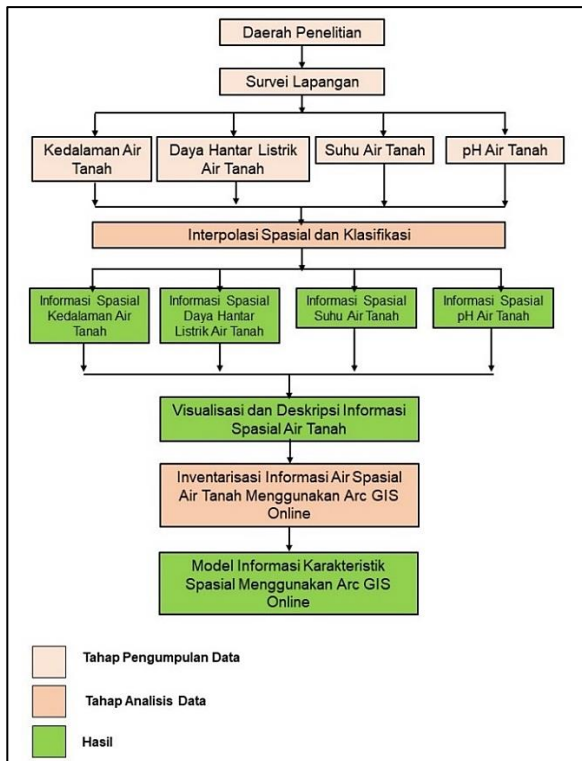


Gambar 1. Visualisasi daerah penelitian

Tabel 2. Rincian peralatan penelitian

Nama	Fungsi
GPS <i>receiver</i> merk garmin 64 S	Pencatat posisi koordinat sampel
Pita ukur merk bison 50 meter	Pengukur kedalaman air tanah bebas
<i>Portable water quality checker</i> merk hanna instrument	Pengukur DHL, suhu, dan kebasaaan air tanah
Daftar isian	Pencatat hasil pengukuran
Arc GIS dekstop versi 10.6 dan Arc GIS <i>online</i>	Penganalisis data spasial dan media inventarisasi hasil pengolahan data

Data dianalisis untuk mengetahui informasi spasial air tanah berdasarkan variabel yang digunakan. Analisis spasial dilakukan dengan metode interpolasi spasial melalui perangkat lunak Arc GIS dekstop Versi 10 6 ([Gambar 2.](#)).



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Metode *inverse distance weighting* (IDW) dipilih sebagai teknik interpolasi spasial karena mampu menghasilkan nilai *root mean square error* (RMSE) yang relatif kecil (Sejati, 2019; Widiawaty dkk., 2018) terhadap persebaran sampel yang tidak teratur. Hasil interpolasi setiap variabel kemudian diklasifikasi menjadi tiga kelas menggunakan metode *equal interval*. Metode *equal interval* dipilih agar variasi nilai data setiap dapat dijangkau dan divisualisasikan. Tahap pertama pengolahan data menghasilkan *layer* tematik informasi spasial air tanah, meliputi kedalaman air tanah, daya hanyar listrik, suhu, dan kebiasaan air tanah. Setiap *layer* tematik kemudian divisualisasikan dalam bentuk peta dan dianalisis secara deskriptif untuk mengetahui kondisi air tanah bebas.

Tahap selanjutnya dilakukan untuk mengetahui kemampuan Arc GIS *online* sebagai media inventarisasi informasi spasial air tanah bebas yang telah dihasilkan dalam tahap pertama. *Layer* tematik informasi spasial air tanah bebas digunakan sebagai data masukan. Setiap *layer* memiliki sistem koordinat yang otomatis terbaca pada Arc GIS *online*. Setelah semua *layer* dimasukkan, langkah berikutnya adalah mengatur tampilan menggunakan sistem *web app builder*. Tampilan diatur sesuai dengan kaidah kartografi digital. Tampilan utama (*main view*) dilengkapi

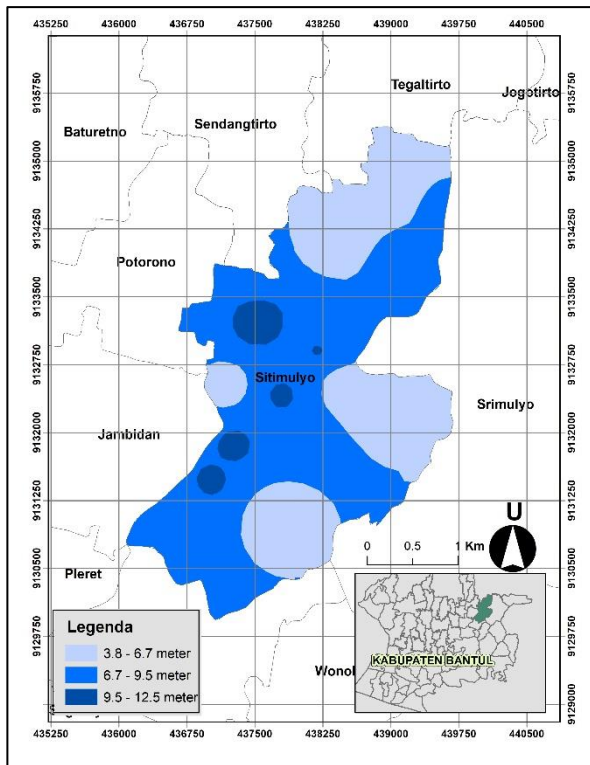
dengan informasi tepi peta. Beberapa fitur kemudian ditambahkan untuk mempermudah akses pengguna. Hasil akhir kemudian diuji coba. Uji coba mencakup aksesibilitas program terhadap beragam piranti elektronik seperti laptop, *tablet*, dan *smartphone*. Setiap fitur interaktif yang terdapat dalam program juga diuji aksesibilitasnya. Hasil pengujian kemudian dianalisis secara deskriptif untuk mengetahui kemampuan Web GIS sebagai media inventarisasi informasi sapsial air tanah.

Hasil dan pembahasan

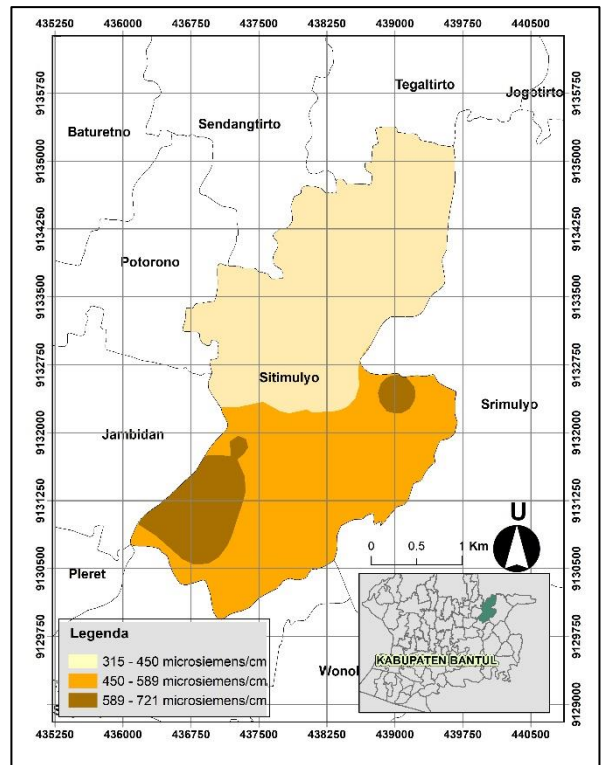
1. Informasi spasial air tanah bebas

Kedalaman air tanah bebas merupakan variabel yang digunakan untuk mengetahui kondisi fisik air tanah. Kedalaman air tanah bebas wilayah kajian bervariasi mulai dari 3,8 hingga 12,5 meter. Hasil analisis data menunjukkan bahwa daerah penelitian didominasi oleh air tanah bebas berkedalaman 6,7 hingga 9,5 meter. Sedangkan air tanah berkedalaman kurang dari 6,7 meter dan antara 9,5 hingga 12,5 meter terdistribusi secara minor. Persebaran spasial kedalaman air tanah bebas di daerah penelitian (Gambar 3.).

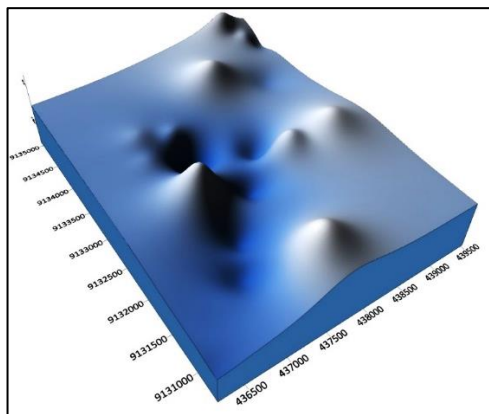
Perbedaan penggunaan lahan dimungkinkan menjadi penyebab bervariasinya kedalaman air tanah di daerah penelitian. Kedalaman air tanah kurang dari 6,7 meter umumnya terdapat di wilayah yang tidak terbangun, sedangkan air tanah berkedalaman lebih dari 6,7 meter terdistribusi pada wilayah terbangun, seperti permukiman atau tempat usaha. Kepadatan bangunan dapat digunakan sebagai indikator masifnya penggunaan air tanah yang berdampak terhadap variasi kedalaman air tanah bebas (Sejati, 2021). Visualisasi tiga dimensi (3D) (Gambar 4.) menunjukkan bahwa sebagian daerah penelitian memiliki pola muka air tanah bebas berupa cekungan. Pola cekungan (*cone of depression*) mengindikasikan bahwa air tanah di bagian tersebut digunakan secara masif (Islam et al., 2021; Li et al., 2014).



Gambar 3. Informasi spasial kedalaman air tanah bebas di daerah penelitian



Gambar 5. Informasi spasial daya hantar listrik air tanah bebas di daerah penelitian

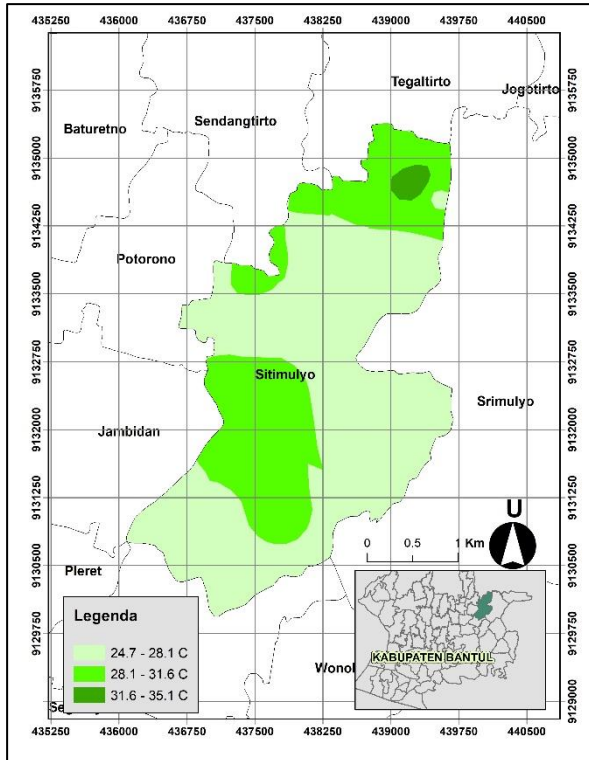


Gambar 4. Visualisasi 3 dimensi kedalaman air tanah bebas di daerah penelitian

Variabel selanjutnya adalah DHL, suhu, dan kebasaaan air tanah bebas. Ketiga variabel tersebut digunakan untuk mengetahui informasi spasial kualitas air tanah secara umum. DHL air tanah bebas wilayah kajian bervariasi mulai dari 315 hingga 721 microsiemens/cm. Berdasarkan analisis data, variasi spasial DHL tidak terlalu signifikan. DHL di bagian selatan cenderung lebih tinggi daripada bagian utara wilayah kajian (Gambar 5.).

Variasi DHL kemungkinan disebabkan oleh perbedaan material akuifer tidak tertekan di daerah kajian. Lapisan akuifer bebas di bagian utara wilayah kajian tersusun oleh batuan aluvium, sedangkan bagian selatan tersusun oleh koluvium (Santosa & Adji, 2018). Analisis data menunjukkan bahwa DHL tertinggi di bagian utara wilayah kajian adalah 450 microsiemens/cm, sedangkan di bagian selatan adalah 721 microsiemens/cm. Meskipun bervariasi, namun DHL air tanah bebas dalam kondisi baik. Kondisi tersebut diperkuat dengan data pendukung, yaitu air tanah tidak berasa, tidak berbau, dan tidak berwarna.

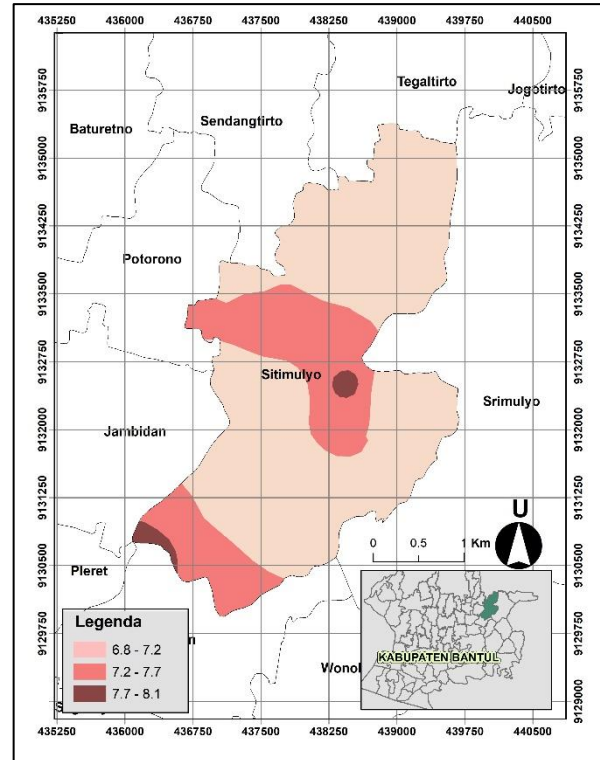
Kondisi kualitas air tanah bebas diidentifikasi pula menggunakan suhu. Suhu air tanah bebas bervariasi mulai dari 24,7 hingga 35,1⁰ celcius. Informasi spasial suhu air tanah bebas di wilayah kajian dapat dilihat di Gambar 6.



Gambar 6. Informasi spasial suhu air tanah bebas di daerah penelitian

Suhu paling tinggi di sebagian besar wilayah kajian adalah $28,1^{\circ}$ celcius, sedangkan bagian kecil wilayah penelitian lainnya bersuhu paling tinggi $31,6$ dan $35,1^{\circ}$ celcius. Variasi spasial suhu air tanah bebas kemungkinan berkaitan dengan waktu pengumpulan data. Pengumpulan data suhu dilakukan pada jam yang berbeda. Berdasarkan Gambar 6, sampel data di wilayah kajian yang suhu maksimalnya $28,1^{\circ}$ celcius dikumpulkan kurang dari jam 10 siang, sedangkan di wilayah kajian yang suhu maksimalnya $31,6^{\circ}$ celcius dan $35,1^{\circ}$ celcius dikumpulkan setelah jam 12 siang. Perbedaan jam pengumpulan data suhu air tanah diperkirakan menjadi penyebab variasi *albedo* radiasi matahari yang diterima air tanah bebas, sehingga berdampak pada beragamnya suhu air tanah bebas di wilayah kajian. Sehingga dalam kasus ini, variasi suhu air tanah bebas di daerah penelitian tidak mengindikasikan buruknya kualitas air tanah.

Variabel yang juga digunakan untuk mengidentifikasi informasi spasial kualitas air tanah adalah kebasaaan (pH). Berdasarkan hasil analisis data, variasi spasial kebasaaan air tanah bebas tidak terlalu menonjol (Gambar 7). Kebasaaan air tanah bebas dapat dikatakan masih

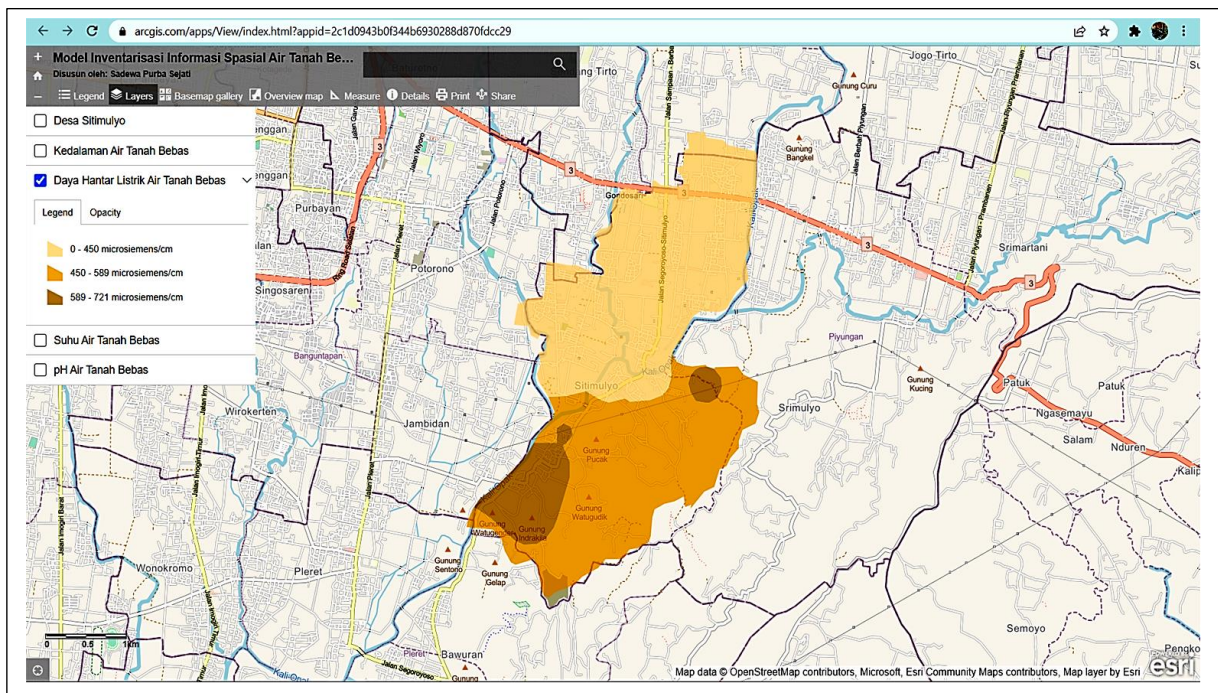


Gambar 7. Informasi spasial pH air tanah bebas di daerah penelitian

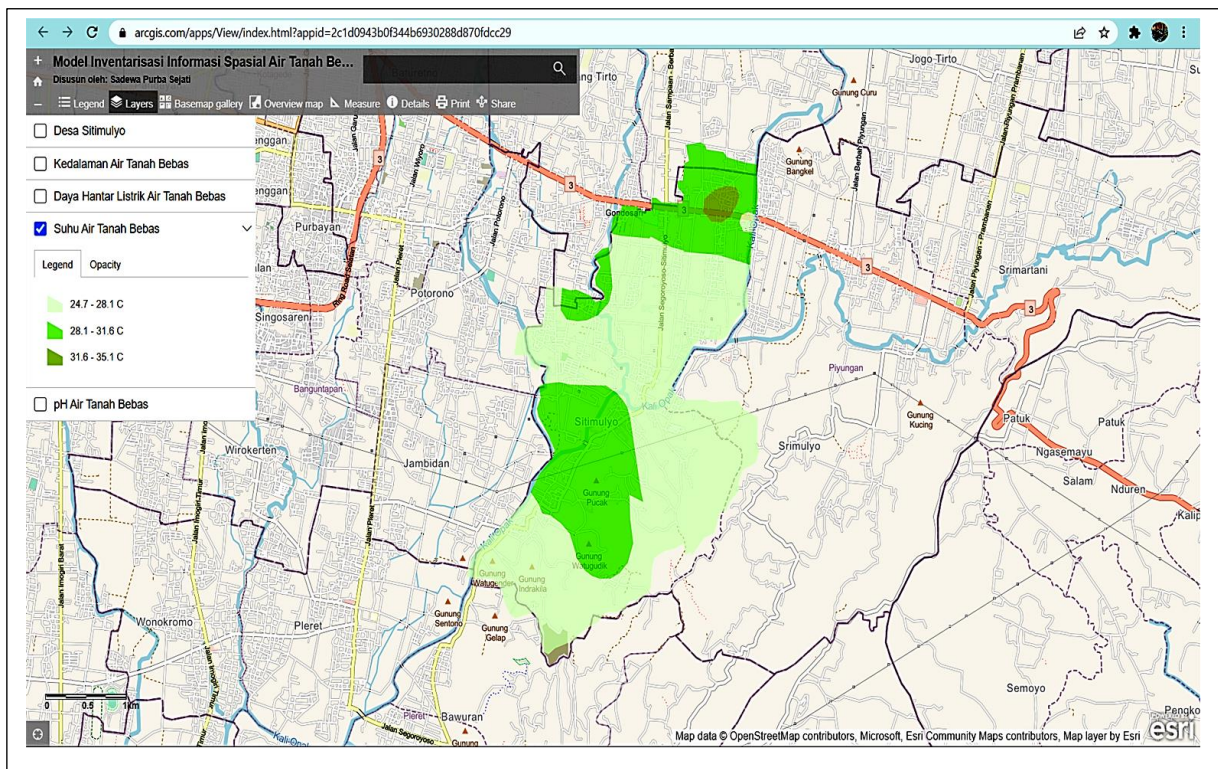
normal, yaitu 6,8 hingga 8,1 dengan variasi spasial yang dapat dilihat di Gambar 6. Berdasarkan Gambar 7, diketahui bahwa terdapat spot area dengan pH mencapai 8,1 namun tidak berpengaruh terhadap perubahan rasa, bau, dan warna air tanah.

2. Kemampuan Arc GIS online sebagai media inventarisasi informasi spasial air tanah bebas

Contoh visualisasi model inventarisasi informasi spasial menggunakan Web GIS yang dibangun menggunakan ekosistem Arc GIS *online* dapat dilihat di Gambar 8. dan Gambar 9. Model dapat diakses secara interaktif melalui link berikut <https://arcg.is/1THXDn0>.

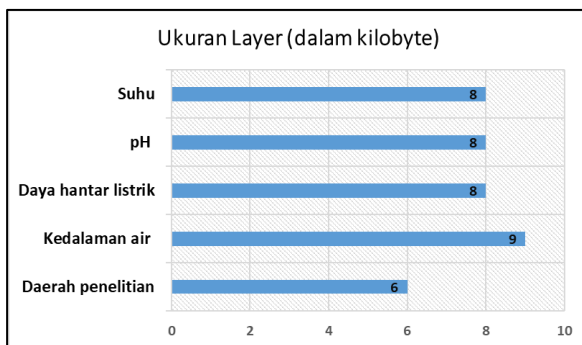


Gambar 8. Model inventarisasi informasi spasial daya hantar listrik air tanah menggunakan Web GIS



Gambar 9. Model inventarisasi informasi spasial suhu air tanah menggunakan Web GIS

Berdasarkan hasil pengujian diketahui bahwa program dapat difungsikan menggunakan berbagai perangkat elektronik, meliputi komputer meja (*desktop computer*), laptop, *tablet*, dan *smarthpone* yang terkoneksi internet. Tampilan utama (*main view*) informasi spasial dapat ditampilkan secara cepat karena setiap *layer* memiliki struktur *vector* berukuran kurang dari 15 kilobyte ([Gambar 10](#)). Model inventarisasi juga dilengkapi dengan berbagai fitur tambahan yang dapat dijalankan difungsikan dengan baik pula. Rincian fitur interaktif yang dapat digunakan dapat dilihat di [Tabel 3](#).



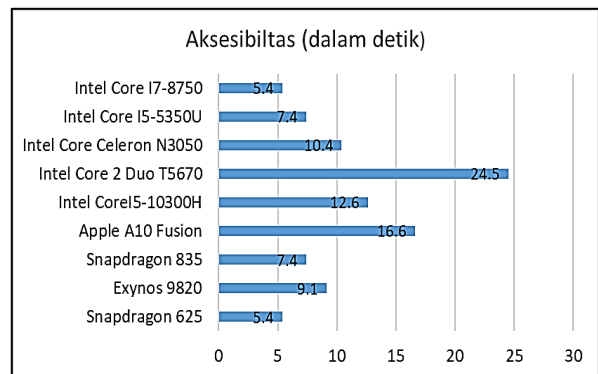
Gambar 10. Ukuran *layer* informasi spasial air tanah bebas

Tabel 3. Rincian fitur interaktif

Fitur	Fungsi
Legend	Informasi simbol setiap <i>layer</i>
Layers	Informasi daftar <i>layer</i> tematik
Basemap gallery	Penampil peta dasar yang dapat diatur sesuai kebutuhan, terdapat 23 peta dasar yang dapat digunakan.
Overview map	Penampil wilayah di sekitar daerah kajian
Measure	Pengukur panjang dan luasan
Zoom in dan zoom out	Pengatur perbesaran dan pengecilan tampilan
Scale bar	Identifikator skala grafis
Track location	Identifikator posisi pengguna
Print	Penghubung program dengan printer jika tampilan akan dicetak
Share	Berbagi program ke pengguna lainnya

Hasil pengujian fitur di lingkungan terkoneksi internet berkecepatan 10 mbps (*megabyte per second*) menunjukkan bahwa model inventarisasi dan beragam fiturnya dapat diakses kurang dari tiga puluh detik, rincian aksesibilitas dapat dilihat di [Gambar 9](#). Aksesibilitas paling cepat diperoleh ketika model dioperasikan menggunakan perangkat elektronik berprosesor snapdragon dan intel core i7.

Perbedaan prosesor elektronik tidak berpengaruh signifikan terhadap aksesibilitas program. Variabel yang mungkin berpengaruh signifikan terhadap aksesibilitas model adalah kecepatan koneksi internet. Selain dapat digunakan sebagai media inventarisasi, proses pembaruan informasi juga dapat dilakukan dengan mudah. Arc GIS *online* menyediakan menu *content* untuk memperbarui data dan informasi ([Gambar 11](#)).



Gambar 11. Aksesibilitas model terhadap spesifikasi prosesor perangkat elektronik

Simpulan

Model inventarisasi informasi spasial air tanah disusun menggunakan data yang telah diolah dan dianalisis agar informasi yang disampaikan komprehensif. Berdasarkan kajian yang telah dilakukan, air tanah bebas di daerah penelitian dapat dikategorikan baik. Muka air tanah mudah dijangkau melalui sumur galian. Kajian terhadap variabel daya hantar listrik, suhu, dan kebasan juga menunjukkan bahwa kualitas air tanah tergolong baik. Kedalaman dan kualitas air tanah perlu diinventarisasi secara berkesinambungan untuk mengantisipasi degradasi air tanah. Perangkat lunak Arc GIS *online* dapat digunakan untuk menginventarisasi dan mendiseminasi karakteristik spasial dan temporal air tanah bebas. Lisensi yang bersifat *free* didukung oleh tata kelola data yang mudah

menjadi keunggulan Arc GIS *online* sebagai media inventarisasi informasi spasial air tanah.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Amikom Yogyakarta yang telah memberikan dukungan dana penelitian melalui skema hibah penelitian internal periode tahun 2021. Ucapan terima kasih juga kepada warga masyarakat Desa Sitimulyo, Kabupaten Bantul, Yogyakarta yang telah memberikan izin pengumpulan data primer.

Referensi

- Balla, D., Zichar, M., Kiss, E., Szabó, G., & Mester, T. (2022). Possibilities for Assessment and Geovisualization of Spatial and Temporal Water Quality Data Using a WebGIS Application. *Geo Information, 11*(108), 1–18. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ijgi11020108>
- Geoscience Australia. (n.d.). *Groundwater*. Retrieved from <https://www.ga.gov.au/scientific-topics/water/groundwater>
- Hunter, J., Brooking, C., Reading, L., Vink, S., Hunter, J., Brooking, C., ... Web-, S. V. A. (2016). A Web-based system enabling the integration, analysis, and 3D sub-surface visualization of groundwater monitoring data and geological models. *International Journal of Digital Earth, 9*(2), 1–18. <https://doi.org/10.1080/17538947.2014.1002866>
- Islam, M., Camp, M. Van, Hossain, D., Sarker, M. R., & Khatun, S. (2021). Impacts of Large-Scale Groundwater Exploitation Based on Long-Term Evolution of Hydraulic Heads. *Water, 13*(1357), 1–28. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/w13101357>
- Kim, C., Raza, M., Lee, J., Kim, H., Jeon, C., Kim, B., ... Kim, R. (2020). Factors Controlling the Spatial Distribution and Temporal Trend of Nationwide Groundwater Quality in Korea. *Sustainability, 12*(9971), 1–18. <https://doi.org/doi:10.3390/su12239971>
- Li, Y., Zhang, F., Han, Z., Wang, P., Chen, H., & Zhang, Z. (2014). Evolution Characteristics and Influence Factors of Deep Groundwater Depression Cone in North China Plain, China — A Case Study in Cangzhou Region. *Journal of Earth Science, 25*(6), 999–1006. <https://doi.org/10.1007/s12583-014-0488-5>
- Longley, P. A., Goddchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographic Information Science and Systems*. New Jersey: John Willey and Son Inc.
- Loyola, I., Purnama, S., Salamah, S. D., Wandari, K. A., & Anindha, V. (2020). Integrated groundwater resource management in the peri-urban area of Banguntapan, Bantul. *ICST 2020, 02017, 1–5*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1051/e3sc onf/202020002017>
- Masoud, A. A., Koike, K., Mashaly, H. A., & Gergis, F. (2016). Spatio-temporal trends and change factors of groundwater quality in an arid area with peat rich aquifers: Emergence of water environmental problems in Tanta District, Egypt. *Journal of Arid Environments, 124*, 360–376. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.08.018>
- Neritarani, R., & Sejati, S. P. (2021). The Impact of Rapid Urban Growth on Potential Groundwater Pollution in Ngemplak Sub-District, Sleman District. *Jurnal Wilayah Dan Lingkungan, 9*(1). Retrieved from <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/jwl/article/view/10140>
- Nešetřil, K., & Šembera, J. (2014). Groundwater data management system. *Proceedings of the 28th Enviro Info 2014 Conference*, 1–6. Oldenburg, Germany: BIS-Verlag.
- Petri, M., Gostin, P., Krsnik, P., & Gacin, M. (2020). GIS database of groundwater flow characteristics in carbonate aquifers: Tracer test inventory from Slovenian karst. *Applied Geography, 118*(3), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102191>
- Purwantara, S., Suprayogi, S., Hadi, M. P., & Purnama, I. L. S. (2019). The Impact of Land Use Change on Water Resources in The Southern Foot Plain of Merapi. *Southeast Asian Geography Association (SEAGA) 13th Conference*, 1–9.

<https://doi.org/10.1088/1755-1315/338/1/012031>

- Santosa, L. W., & Adji, T. N. (2018). *Karakteristik Akuifer dan Potensi Airtanah Graben Bantul*. Yogyakarta: UGM Press.
- Sejati, S.P. (2019). Perbandingan akurasi metode idw dan kriging dalam pemetaan muka air tanah. *Majalah Geografi Indonesia*, 33(2), 49–57. <https://doi.org/10.22146/mgi.41473>
- Sejati, S.P., & Saputra, A. (2022). Jurnal Teknologi Lingkungan Analisis Potensi Pencemaran Air Tanah Bebas di Lereng Kaki Koluvial dan Dataran Analysis of Potential Groundwater Pollution in Unconfined Aquifer in Colluvial Footslopes and Alluvial Plains of the Pesing Watershed Using Integra. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 23(1), 44–54.
- Sejati, Sadewa Purba. (2021). Tingkat Fluktuasi Air Tanah pada Jangka Pendek di Kecamatan Ngemplak , Kabupaten Sleman , Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 22(1), 121–129. <https://doi.org/https://doi.org/10.29122/jtl.v22i1.3985><https://doi.org/10.29122/jtl.v22i1.3985>
- Stefan, C., & Ansems, N. (2018). Web-based global inventory of managed aquifer recharge applications. *Sustainable Water Resources Management*, 4(2), 153–162. <https://doi.org/10.1007/s40899-017-0212-6>
- Susanto, Syarifudin, & Putranto, T. T. (2021). Spatial distribution change of groundwater quality in deep aquifer of Semarang alluvial plains area in past five years. *INCRID 2021*, 1–11. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/896/1/012057>
- USGS. (n.d.). *Groundwater Watch*. Retrieved from <https://groundwaterwatch.usgs.gov/default.asp>
- Widiawaty, M. A., Dede, M., & Ismail, A. (2018). Kajian Komparatif Pemodelan Air Tanah Menggunakan Sistem Informasi Geografis di Desa Kayuambon Kabupaten Bandung Barat. *Jurnal Pendidikan Geografi GEA*, 18(1), 63–70. <https://doi.org/10.17509/gea.v18i1.10397>