



# Geomedia

## Majalah Ilmiah dan Informasi Kegeografian

Geomedia Vol. 19 No. 2 Tahun 2021 | 95 – 103

<https://journal.uny.ac.id/index.php/geomedia/index>

### Pengembangan prototipe sistem monitoring kualitas air tanah karst

Eko Budiyanto<sup>a, 1, \*</sup>, Nugroho Hari Purnomo<sup>2</sup>, Aida Kurniawati<sup>3</sup>, Muzayanah<sup>4</sup>

<sup>a</sup> Prodi Pendidikan Geografi, FISH - UNESA, Surabaya - Indonesia

<sup>1</sup> [ekobudiyanto@unesa.ac.id](mailto:ekobudiyanto@unesa.ac.id); [nugrohohari@unesa.ac.id](mailto:nugrohohari@unesa.ac.id); [aidakurniawati@unesa.ac.id](mailto:aidakurniawati@unesa.ac.id); [muzayanah@unesa.ac.id](mailto:muzayanah@unesa.ac.id).

\*korespondensi penulis

Informasi artikel	ABSTRAK
<p><i>Sejarah artikel</i></p> <p>Diterima : 19 April 2021</p> <p>Revisi : 27 November 2021</p> <p>Dipublikasikan : 30 November 2021</p> <p><b>Kata kunci:</b></p> <p>Pototipe</p> <p>Sistem monitoring kualitas air</p> <p>Air tanah karst</p> <p>Jaringan sensor</p> <p>Arduino</p>	<p>Air tanah karst merupakan satu sumber pemenuhan kebutuhan air utama bagi penduduk di wilayah karst. Kualitas air tanah karst dapat berubah secara dinamis dalam waktu yang cepat. Oleh karena itu, diperlukan satu sistem yang dapat memberikan informasi tentang kualitas air ini secara mudah bagi penduduk. Penelitian ini bertujuan membangun prototipe sistem monitoring kualitas air tanah karst. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk menghasilkan prototipe monitoring kualitas air. Sistem yang dihasilkan terdiri dari perangkat sensor (pH, kekeruhan, dan temperatur), mikrokontroler, sistem basis data pada server, dan sistem antar muka. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat menghasilkan nilai parameter kualitas air secara realtime dengan akurasi yang dapat diterima. Beberapa hal teknis perlu diperhatikan agar perolehan data kualitas air dapat berjalan lancar dan terhindar dari kerusakan peralatan.</p>
<p><b>Keywords:</b></p> <p>Prototipe</p> <p>Water quality monitoring system</p> <p>Karst groundwater</p> <p>Sensor network</p> <p>Arduino</p>	<p><b>ABSTRACT</b></p> <p>Karst groundwater is the main source of water needs for residents in karst areas. The quality of karst groundwater can change dynamically in a fast time. Therefore, we need a system that can provide information about water quality easily for residents. This study aims to build a prototype of the karst groundwater quality monitoring system. The experimental method used in this research. The resulting system consists of a sensor device (pH, turbidity, and temperature), a microcontroller, a database system on the server, and an interface system. The test results show that the prototype of this water quality monitoring system can operate properly and can provide water quality information quickly for residents. Several technical matters need to be considered so that water quality data collection can run smoothly and avoid equipment damage.</p>

#### Pendahuluan

Air sungai bawah tanah dan mata air karst adalah sumber air pokok bagi penduduk di wilayah karst Gunungsewu (Widyastuti dkk, 2012). Air sungai bawah tanah dan mata air karst merupakan bentuk dari air tanah karst yang utama. Air sulit ditemukan pada permukaan bentang lahan karst karena sebagian besar air masuk ke dalam batuan. Besarnya porositas

batuan karbonat mengakibatkan air terakumulasi pada sungai-sungai bawah tanah karst dengan jumlah yang besar (Subratayati, 2008; Wardana dkk, 2013; Endah, 2017; Haryono dkk, 2018).

Sejalan dengan sifat bentang lahan karst yang rentan, air tanah karst sangat mudah mengalami pencemaran. Day (2011) menyatakan bahwa tekanan dari faktor alami dan manusia terhadap ekosistem karst terus mengalami

peningkatan. Tekanan tersebut dapat mengakibatkan semakin terdegradasinya lingkungan karst. Bentuk gangguan manusia terhadap lingkungan karst berupa penggalian, polusi, pemompaan air bawah tanah, konstruksi dan pertanian (Podobnikar dkk, 2009; Van Beynen dan van Beynen 2011). Sementara itu, tekanan alami berupa iklim dan cuaca ekstrim, hujan, penyinaran matahari, tenaga erosional dari angin dan air, dan lain-lain.

Air tanah karst sangat peka dengan kejadian yang terjadi dipermukaan seperti hujan. Kejadian hujan memberikan pengaruh terhadap kondisi air sungai bawah tanah karst ini. Hujan yang terjadi di area tangkapan dapat mengakibatkan kenaikan debit sesaat pada sungai bawah tanah karst. Adji (2016) menunjukkan hal yang sama pada pengamatannya terhadap tinggi muka air sungai bawah tanah sistem Bribin-Baron di beberapa titik amatan. Budiyanto (2018) menyatakan bahwa bahan pencemar dipermukaan dapat dengan mudah terbawa masuk ke dalam air tanah karst oleh air hujan sejalan dengan tingkat kerentanan masing-masing area tangkapannya. Air hujan secara signifikan meningkatkan bahan pencemar mikrobiologi dan non mikrobiologi pada air tanah karst Gunungsewu.

Besarnya infiltrasi air hujan ke dalam sistem karst Gunungsewu memberikan pengaruh terhadap fluktuasi kualitas air tanah karst (Matthies dan Obst, 2011; Eiche dkk, 2016; Budiyanto, 2018). Matthies dan Obst (2011) menyimpulkan bahwa terjadi peningkatan jumlah bakteri koliform pada air tanah karst pada awal musim penghujan di wilayah karst Gunungsewu. Peningkatan ini dipicu oleh proses pencucian permukaan karst dan karakter porositas karst yang besar. Proses pencucian terhadap bakteri coli dan erosi tanah permukaan oleh curah hujan yang tinggi mengakibatkan masuknya pencemar tersebut ke dalam sistem jaringan sungai bawah tanah karst. Pada bagian lain, tanah permukaan yang ikut tererosi dan masuk ke dalam sistem sungai bawah tanah menambah konsentrasi Fe

dan Al pada air tanah karst Gunungsewu (Eiche dkk, 2011).

Konsentrasi bahan pencemar pada air tanah karst bersifat fluktuatif dalam waktu yang sulit ditentukan mengingat karakteristik dari bentang lahan karst tersebut yang peka. Fluktuasi kualitas air terjadi karena adanya perubahan konsentrasi material terlarut yang dapat menjadi bahan pencemar air tanah karst. Nilai konsentrasi material terlarut dapat meningkat drastis ketika air mengalir melalui lokasi sumber-sumber pencemar, sehingga material pencemar tersebut terlarut dalam jumlah yang besar. Kondisi sebaliknya jika volume air yang masuk jauh lebih besar dibandingkan volume material yang terlarut, maka nilai konsentrasi material larutan akan turun. Kajian yang dilakukan oleh Adji (2010) menunjukkan fluktuasi nilai DHL terjadi akibat pengaruh kejadian hujan yang ada di area tangkapannya. Fluktuasi sangat nyata terjadi pada saat musim penghujan yang disebabkan oleh adanya imbuhan air sungai bawah tanah sesaat. Pada saat musim kemarau kondisi nilai DHL nampak relatif stabil karena merupakan pengatusan aliran dasar yang ada pada sistem jaringan sungai bawah tanah tersebut.

Pencemaran air tanah memberikan dampak buruk yang langsung terhadap kesehatan penduduk (Odiyo dan Makungo, 2018). Mohsin dkk (2013) menyebutkan bahwa pencemaran air tanah telah mengakibatkan penyakit seperti kolera, disentri, dan thypoid di wilayah penelitiannya. Rendahnya kemampuan filtrasi alamiah bentang lahan karst dan proses pemanfaatan air tanah karst Gunungsewu secara langsung memperbesar risiko terhadap berjangkitnya penyakit-penyakit tersebut pada penduduk. Oleh karena itu, Matthies dan Obst (2011) menyarankan perlunya treatment terhadap air tanah karst Gunungsewu yang akan digunakan oleh penduduk.

Pengembangan sistem monitoring kualitas air telah dilakukan oleh beberapa peneliti sejak tahun 2006 seperti yang dikembangkan oleh Weingartner dan Hofstadter (2006). Sistem ini

memberikan informasi kualitas air tanah yang digunakan sebagai air baku untuk keperluan air minum. Air tidak dimanfaatkan apabila terdapat parameter yang melebihi ambang batas yang diijinkan. Model sistem monitoring kualitas air yang lain dicontohkan oleh [Grimmeisen dkk \(2018\)](#). Sistem ini menghasilkan informasi mendekati *real time* yaitu dengan resolusi temporal satu jam. Data diambil melalui sensor elektrik serta dikirimkan ke dalam database. Peringatan dini pada kondisi terdapat parameter yang melebihi ambang batas dikirimkan melalui media sms.

Perangkat sederhana untuk monitoring kualitas air dengan menggunakan mikrokontroler Arduino dilakukan oleh [Pandian dan Mala \(2015\)](#), [Swamy dan Mahalaksmi \(2017\)](#), [Kamble dkk \(2017\)](#). Perangkat ini didasarkan pada sistem sensor yang terhubung pada mikrokontroler. Sensor yang dipasang dilapangan akan merekam data parameter kualitas air. Data ini dikirimkan ke mikrokontroler yang selanjutnya dikirimkan pada server melalui internet. Informasi yang dihasilkan bersifat tekstual pada layar visual dan tidak bersifat spasial.

Penduduk di wilayah karst Gunungsewu memanfaatkan air tanah karst tersebut untuk pemenuhan keperluan air rumah tangga sehari-hari. Pemanfaatan air dilakukan secara langsung yaitu dengan cara menimba ataupun melalui jaringan PDAM. Namun demikian, dalam pemanfaatan air tersebut, hingga saat ini penduduk belum memperhatikan kondisi kualitas air. Hal ini dikarenakan tidak adanya informasi kualitas air tanah karst yang kontinyu, sejalan dengan karakteristik kualitas air tanah karst yang dinamis. Mengingat kondisi diatas, sangat diperlukan satu sistem yang mampu memberikan informasi kualitas air tanah karst yang akan dikonsumsi.

Berdasar uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk membangun satu prototipe sistem monitoring kualitas air tanah karst yang dapat dengan mudah diakses oleh penduduk untuk mendapat informasi kualitas yang airnya.

## Metode

Penelitian mengembangkan prototipe sistem peringatan dini kualitas air tanah karst. Alat dan bahan yang digunakan berupa

- a. GPS digunakan sebagai pemandu arah, pencarian titik sampel di lapangan dan titik ikat koordinat penyusunan peta.
- b. Mikrokontroler ARDUINO UNO sebagai modul pemroses data
- c. Sensor air untuk perekaman level air
- d. DZ-PH probe untuk sensor pH air tanah
- e. Turbidity sensor untuk sensor kekeruhan

Selanjutnya penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu tahap pembuatan sistem sensor, pembuatan basisdata dan antar muka sistem, dan tahap pengujian.

### 1. Tahap pembuatan sistem sensor

Parameter yang direkam dalam prototipe sistem ini adalah parameter kekeruhan, keasaman (pH), dan suhu air. Parameter kekeruhan diukur dengan menggunakan turbidity sensor. Parameter pH diukur dengan menggunakan DZ-PH probe. Sementara itu suhu air diukur dengan menggunakan sensor temperatur. Modul pengendali digunakan mikrokontroler Arduino UNO. Mikrokontrol menggunakan daya yang berasal dari baterai. Sensor mengirimkan data ke mikrokontrol dan di lanjutkan ke server.

### 2. Tahap pembuatan basisdata dan antarmuka sistem

Sistem basis data dibangun dengan menggunakan MySQL. Tabel dalam basis data yang digunakan adalah tabel kualitas\_air. Tabel kualitas\_air digunakan untuk menyimpan data koordinat sumber air, pH, kekeruhan, dan suhu air. Data ini bersifat dinamis yang bersumber dari pengiriman modul sensor. Setiap sumber air diberi kode unik yang berbeda dengan sumber air lain.

Kode sistem informasi dan peringatan dini disusun dengan menggunakan perintah HTML, PHP, dan JavaScript. Penyusunan dilakukan dengan menggunakan notepad++. Listing kode

yang telah dibangun selanjutnya dipasang pada server dengan sub domain Jurusan Pendidikan Geografi Unesa, yaitu <http://geo.fish.unesa.ac.id>. Kode untuk penerima dibangun dengan menggunakan langkah-langkah yang sama. Kode untuk penerima dikonversi menjadi aplikasi berbasis android. Aplikasi ini selanjutnya dipasang pada perangkat penerima seperti handphone atau gadget.

Input data dari sensor dikirimkan menggunakan jalur internet. Sistem bertugas melakukan proses pengolahan, distribusi dan visualisasi data. Data terolah dikirimkan melalui internet ke media aplikasi penerima.

Penyusunan dilakukan secara *offline* pada server dengan berbasis pada XAMPP. Server ini tidak terhubung dengan jaringan internet namun menjadi sistem yang menyerupai sistem online. Pada tahap ini ditujukan untuk mendapatkan akurasi visual antarmuka dan ketepatan data spasial yang akan digunakan. Lokasi sumber air tanah karst yang telah diambil di lapangan dilakukan proses plotting sehingga diperoleh lokasi geografis sumber air tanah karst pada data spasial.

### 3. Tahap pengujian sistem

Tahap pengujian dilakukan dengan menggunakan simulasi. Air tanah karst disimulasikan dengan menggunakan air tanah sampel dari beberapa sumber air tanah karst. Sistem informasi diaplikasikan terhadap sampel tersebut dengan beberapa modul penerima.

Pengujian dilakukan terhadap akurasi nilai parameter dibandingkan dengan data pengukuran menggunakan peralatan ukur kualitas air yang standar. Pengukuran dilakukan dengan pengulangan sebanyak sepuluh kali untuk masing-masing parameter kualitas air.

Sampel air tanah karst yang digunakan dalam simulasi terdiri dari 10 sampel air dengan kondisi yang berbeda. Parameter kualitas air seluruh sampel tersebut diukur dengan menggunakan peralatan standart yaitu Hanna DIST 1 untuk TDS, OHAUS ST20 untuk pH air dan

suhu, DO Meter Lutron tipe DO-5509 untuk pengukuran oksigen terlarut. Seluruh data kualitas sampel yang dihasilkan dari pengukuran peralatan standar ini dicatat pada tabel Excel dengan kode "kualitas nyata".

Air tanah karst disimulasikan dengan menggunakan air tanah sampel dari beberapa kondisi kualitas. Prototipe sistem informasi dan peringatan dini diaplikasikan terhadap sampel tersebut. Pencatatan data dilakukan terhadap data yang diterima dari prototipe tersebut dengan menggunakan tabel Excel dengan kode "kualitas-rekaman".

Data yang dihasilkan dari prototipe dimungkinkan terdapat perbedaan dari data yang dihasilkan dari peralatan standar. Oleh karena itu perlu diformulasikan nilai regresi dari kedua kelompok data tersebut. Pengujian dilakukan dengan menggunakan uji regresi linear sederhana.

Pengujian kecepatan pengiriman data dari modul pengukuran hingga modul penerima dilakukan dengan menghitung selisih waktu pengiriman dan penerimaan data. Sistem dianggap dapat digunakan jika selisih waktu pengiriman dan penerimaan tidak lebih dari 15 detik. Apabila sistem memiliki waktu lebih dari 15 detik maka perlu dilakukan pengubahan prosedur proses sistem.

## Hasil dan pembahasan

### 1. Hasil

Prototipe sistem monitoring kualitas air ini terdiri dari perangkat sensor, perangkat mikrokontroler, sistem pengolah data, sistem server dan sistem penerima data akhir. Perangkat sensor adalah perangkat yang dipasang dilapangan yaitu pada sistem sungai bawah tanah karst secara permanen. Perangkat ini berfungsi menangkap data aktual dari kondisi kualitas air saat itu. Perangkat sensor ini terdiri dari beberapa sensor *probe* yaitu sensor pH air, sensor temperatur air, dan sensor kekeruhan. Sensor tersebut ditempatkan pada rumah sensor yang telah dirancang oleh peneliti agar

terlindung dari potensi kerusakan dan kesalahan pembacaan data. Rumah sensor juga dilengkapi dengan sistem pelampung dengan tujuan agar posisi sensor tidak tenggelam pada saat permukaan air sungai bawah tanah tersebut naik. [Gambar 1](#) berikut menunjukkan sensor pH, sensor temperatur dan sensor kekeruhan yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 1. (a) sensor kekeruhan termodifikasi, (b) sensor temperatur air, (c) sensor pH, (d) rumah sensor dan pelampung.

[Gambar 1](#) di atas menunjukkan bentuk fisik dari sensor yang digunakan dalam penelitian ini. Sensor dilakukan modifikasi penyesuaian bentuk agar dapat diaplikasikan secara bersama dengan sensor lainnya. Rumah sensor dipasangkan pada pelampung agar sensor tidak tenggelam ke dasar air. Berdasar observasi terhadap beberapa sensor pH yang ada, Liquid pH Sensor DZ merupakan yang paling cocok untuk dipasang pada sistem sungai bawah tanah karst. Sensor tipe ini memiliki kepekaan yang baik terhadap perubahan yang terjadi pada kualitas air sungai tersebut. Sensor secara fisik dapat diaplikasikan pada sistem pengapung yang dipasang pada sistem sungai bawah tanah karst.

Sensor temperatur air yang dipilih dalam penelitian ini adalah sensor temperatur dengan tipe DS18S20. Sensor tipe ini dipilih mengingat bentuk fisik sensor yang kedap terhadap air

sehingga memungkinkan aplikasi pada sungai bawah tanah karst. Bentuk sensor memungkinkan diaplikasikan bersama dalam sistem pengapung rumah sensor. Sensor kekeruhan yang digunakan adalah turbidity sensor tipe P213. Sensor ini memiliki kepekaan yang tinggi terhadap fluktuasi kekeruhan dan bentuk yang memungkinkan diaplikasikan pada sungai bawah tanah. Modifikasi terhadap sensor ini dilakukan untuk menghindari gangguan air yang masuk ke dalam perangkat sensor.

Penerima dan pengolahan data sensor dilakukan pada perangkat mikrokontroler. Mikrokontroler dalam penelitian ini didasarkan pada mikrokontroler Arduino. Mikrokontroler ini memiliki kelebihan yaitu mampu mengolah data dalam bentuk analog dan digital sebagai output. Perangkat penerima data pH, kekeruhan dan temperatur dikoneksikan sebagai input analog pada mikrokontroler. Ujicoba penyusunan rangkaian berhasil memadukan input data analog data dari sensor pH, temperatur dan kekeruhan dalam waktu yang bersamaan. Kemampuan tersebut dalam penelitian ini dimanfaatkan untuk menghasilkan informasi realtime dari perekaman data kualitas air tanah karst. [Gambar 2](#) berikut menunjukkan mikrokontroler yang sudah dirangkai pada wadah.



Gambar 2. Mikrokontroler Arduino Uno sebagai pusat pengolahan data sensor.

[Gambar 2](#) di atas menunjukkan bentuk fisik mikrokontroler Arduino Uno yang telah terangkai dengan beberapa modulator.



Modulator yang aplikasikan pada wadah tersebut adalah modulator sensor kekeruhan dan pH.

Data yang direkam oleh sensor dikirimkan oleh operator dan disimpan pada server. Basisdata dibentuk dengan menggunakan phpMyAdmin. Field terdiri dari no untuk menyimpan nomor data, ph untuk menyimpan data pH, kekeruhan untuk menyimpan data kekeruhan, temperatur untuk menyimpan data temperatur. Tipe data dari masing-masing data kualitas air tersebut adalah float dengan lebar 7 digit dengan akurasi 2 digit. Hasil pengujian menunjukkan struktur tersebut dapat berjalan dengan baik untuk penyimpanan dan pengolahan data dari perangkat sensor.

Sistem pengolah data dibangun untuk mengolah data dan antarmuka bagi user. Sistem juga berfungsi sebagai sarana interkoneksi basisdata client - server. Konektivitas data dilandaskan pada satu jaringan internet sehingga peran sistem ini menjadi sangat penting. Sistem terdiri dari sistem transfer dan input data, sistem pengolah data, dan sistem output data pada perangkat *enduser*. Pembangunan sistem dilakukan dengan menggunakan bahasa pemrograman HTML, PHP, dan Javascript. Ketiga bahasa tersebut dipilih karena dapat saling melengkapi satu sama lain. Bahasa HTML memiliki keunggulan dalam pembentukan antarmuka seperti tombol, baris isian, hingga pewarnaan halaman. PHP memberikan kontribusi dalam pengolahan input dan output data ke dalam server. Javascript memiliki kemampuan dalam pengolahan nilai variabel dan basisdata. Paduan ketiga bahasa tersebut memberikan kemudahan dalam pembangunan sistem WebGIS dalam penelitian ini. *Script* utama yang digunakan dalam sistem ini adalah *script* untuk mengatur visualisasi obyek, koneksi ke basisdata, dan untuk menampilkan serta memberi alternatif simpulan dari data sensor.

Prototipe sistem monitoring kualitas air tanah karst ini diujikan di mata air Gremeng yang berada di Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunungkidul. [Gambar 3](#) menunjukkan pengujian

pengukuran data kualitas air dan pengujian sistem. Data pengujian menunjukkan hasil yang konsisten pada setiap pengukuran parameter kualitas air. Sistem dapat melakukan monitoring terhadap fluktuasi kualitas air pada jeda waktu yang dapat diatur. Jeda waktu yang pendek terbukti dapat menghasilkan informasi fluktuasi kualitas air yang lebih detil. Namun demikian proses ini menghasilkan kumpulan data yang besar.



Gambar 3. Pengujian dan pengukuran kualitas air di mata air Goa Gremeng.

Pemilihan tempat instalasi perangkat sensor harus benar-benar memperhatikan fluktuasi tinggi muka air dalam jangka tertentu yang agak panjang. Pengujian menunjukkan terjadinya fluktuasi tinggi muka air yang cukup ekstrim pada mata air penelitian ini. Pada saat terjadi hujan air meluap sangat tinggi, sementara dalam beberapa waktu kemudian air menjadi sangat surut. Hal ini karena mata air Gremeng sangat dimungkinkan memiliki sistem imbuhan yang terkait dengan air permukaan secara langsung.

Data rekaman sistem monitoring diinput ke dalam basis data pada server. Data tersebut segera diolah oleh sistem dan ditampilkan secara online. Visualisasi antarmuka dari sistem tersebut dapat disajikan pada [Gambar 4](#) yang menunjukkan nilai dan status kualitas air dari satu waktu perekaman pada saat ujicoba sistem. Nilai adalah angka yang didapat dari pengolahan

mikrokontroler. Nilai ini merupakan nilai dari masing-masing kualitas air. Status kualitas air diperoleh dari pengambilan keputusan secara logis oleh sistem. Batas yang digunakan adalah batas dari standar kualitas air bersih dan standar kualitas air minum. [Gambar 4](#) menunjukkan bahwa kondisi kualitas air yang adalah baik jika dimanfaatkan sebagai air bersih seperti mencuci dan mandi, namun tidak baik apabila dimanfaatkan untuk air minum. Hal ini dikarenakan terdapat nilai pH dan kekeruhan yang berada di atas ambang batas kualitas air minum. Berdasar informasi tersebut, berarti air yang diambil pada saat tersebut harus dilakukan pengolahan terlebih dahulu seperti pengendapan. Pengolahan ini ditukukan agar nilai kekeruhan dan pH dapat menjadi lebih baik dan dapat digunakan sebagai sumber air minum.



Parameter	Nilai	SAB	SAM
pH	8.30	Baik	Buruk
Temperatur	26.00	Baik	Baik
Kekeruhan	24.00	Baik	Buruk

**SAB : Standar Air Bersih**  
**SAM : Standar Air Minum**

Gambar 4. Antarmuka menampilkan nilai dan status kualitas air berdasar standar kualitas air bersih dan air minum.

## 2. Pembahasan

Sistem diujikan di mata air yang merupakan discharge dari sungai bawah tanah Gremeng. Secara visual kondisi fluktuasi debit mata air yang digunakan sebagai tempat pengujian dalam penelitian ini memiliki kemiripan dengan karakteristik amatan dari [Adjie \(2016\)](#). Mata air Gremeng mengalami peningkatan debit apabila terjadi hujan di area tangkapan. Namun demikian penelitian ini tidak mengamati *time lag* antara waktu kejadian hujan dengan terjadinya

kenaikan debit air. Mata air Gremeng memiliki karakteristik yang sejalan dengan karakteristik sistem sungai bawah tanah karst pada umumnya. Namun demikian, mata air ini berlanjut menjadi aliran sungai permukaan di wilayah ledok wonosari.

Fluktuasi kualitas air yang terukur dari sistem monitoring yang dihasilkan dalam penelitian ini juga menunjukkan kemiripan dengan temuan dari [Budiyanto \(2018\)](#) yang meneliti karakteristik beberapa mata air lain di wilayah karst Gunungsewu. Mata air di wilayah karst Gunungsewu sebagian besar memiliki keterkaitan yang kuat dengan kejadian hujan yang terjadi di area tangkapannya. Kondisi ini mengakibatkan terjadi perubahan kualitas air dalam waktu yang cepat pada saat terjadi hujan dengan intensitas yang tinggi. Secara visual air menjadi keruh dan berwarna kecoklatan. Kondisi ini mengindikasikan kondisi yang serupa dengan pendapat [Eiche dkk \(2011\)](#) namun penelitian ini tidak mengkonfirmasi konsentrasi Fe dan Al pada saat terjadi perubahan kekeruhan tersebut.

Prototipe yang dibangun pada penelitian ini secara umum memiliki fungsi dan tujuan yang serupa dengan perangkat monitoring kualitas air yang dibangun oleh [Weingartner dan Hofstadter \(2006\)](#), namun berbeda pada sensor yang dimanfaatkan. Prototipe sistem monitoring kualitas air ini ditujukan mendeteksi kualitas air tanah karst dengan memanfaatkan beberapa sensor spesifik. Pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan dengan mengkombinasikan metode yang digunakan dalam kedua riset ini.

Penerapan mikrokontroler arduino uno yang digunakan dalam prototipe monitoring kualitas air ini mampu memberikan hasil yang baik dan stabil, sejalan dengan hasil riset beberapa penelitian terdahulu ([Pandian dan Mala, 2015](#); [Swamy dan Mahalaksmi, 2017](#)). Mikrokontroler ini memberikan performa yang baik untuk diaplikasikan pada medan karst, namun perlu diperhitungkan penempatan perangkat secara tepat. Hal ini disebabkan oleh karakteristik fluktuasi muka air yang dinamis.

Pemilihan penempatan yang tidak tepat dapat mengakibatkan kerusakan perangkat akibat terendam oleh air. Alternatif lain adalah dengan melakukan ekstensi konektor sehingga mikrokontroler berada pada lokasi yang aman.

Pemanfaatan prototipe sistem monitoring kualitas air ini adalah ditujukan untuk masyarakat pengguna air agar masyarakat dapat mengetahui kondisi air yang akan dikonsumsi. Secara umum sistem dapat beroperasi dengan baik ketika dilakukan pengujian di lapangan. Namun demikian berbeda dengan metode dari [Pandian dan Mala \(2015\)](#) dan [Swamy dan Mahalaksmi \(2017\)](#), *input* data dalam riset ini dilakukan secara manual. Hal ini mengakibatkan informasi yang diinput ke dalam server memiliki jeda waktu. Kondisi ini terjadi mengingat tidak terdapatnya jaringan internet yang baik pada lokasi penelitian. Riset lanjutan perlu dilakukan agar pengiriman data dari sensor menuju server dapat dilakukan menggunakan basis IoT.

Proses akses data dari server oleh masyarakat memiliki performa yang berbeda. Informasi kualitas air dapat diakses dengan cepat melalui aplikasi ataupun browser. Hal ini disebabkan oleh adanya jaringan wifi ataupun GPRS yang cukup memadai pada lokasi rumah tempat tinggal penduduk pengguna air. Kondisi ini menunjukkan bahwa prototipe sistem ini dapat diaplikasikan dengan baik di lokasi penelitian seperti sistem yang dikembangkan oleh peneliti terdahulu seperti [Kamble dkk \(2017\)](#) dan [Grimmeisen dkk \(2018\)](#).

## Simpulan

Prototipe sistem monitoring kualitas air dapat dibangun dengan baik dengan mendasarkan pada paduan sistem sensor spesifik, mikrokontroler Arduino Uno dan sistem basis data. Sistem dapat diaplikasikan dengan baik pada lokasi penelitian, namun memerlukan dukungan jaringan internet yang baik terutama pada lokasi sumber air. Proses instalasi perangkat sistem monitoring kualitas air tanah karst harus memahami karakteristik sumber air yang akan

dimonitor untuk menghindari kesalahan perolehan data dan kerusakan perangkat.

## Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penelitian/penyusunan artikel. Penelitian ini diselenggarakan menggunakan data penelitian Kebijakan Fakultas Ilmu Sosial dan Hukum UNESA.

## Referensi

- Adji, T.N., (2010). Variasi spasial-temporal hidrogeokimia dan sifat aliran untuk karakterisasi sistem karst dinamis di sungai bawah tanah Bribin, Kabupaten Gunungkidul, DIY. *Disertasi*. Prodi Geografi, Program Pasca Sarjana, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Adji, T.N., Yudha, M.P., Dewantara, B.P., (2016). Distribusi spasial respon debit mataair dan sungai bawah tanah terhadap hujan untuk prediksi kapasitas penyimpanan air oleh akuifer karst di sebagian wilayah karst di Pulau Jawa. Laporan akhir penelitian, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Budiyanto, E., (2018). Penginderaan Jauh dan SIG untuk penilaian Kerentanan dan Risiko Pencemaran Air Tanah Karst Gunungsewu di Kabupaten Gunungkidul. *Disertasi*. Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Day, M., (2011). Protection of Karst Landscapes in the Developing World: Lessons from Central America, the Caribbean, and Southeast Asia. Dalam: van Beynen, P.E. (ed), 2011. *Karst Management*. Springer. New York.
- Eiche, E., Hochschild, M., Haryono, E., Neumann, T., (2016). Characterizing of recharge and flow behavior of different water sources in Gunung Kidul and its impact on water quality based on hydrochemical and physico-chemical monitoring, *Appl. Water*



- Sci.*, Vol. 6, hal. 293-307. DOI: 10.1007/s13201-016-0426-z.
- Endah, R., Yoseph, B., Sukiyah, E., Setiawan, T., (2017). Karakteristik Sistem Hidrogeologi Karst Berdasarkan Analisis Hidrokimia Di Teluk Mayalibit, Raja Ampat. *Bulletin of Scientific Contribution*, Volume 15, Nomor 3, Desember 2017 : 217 – 222.
- Grimmeisen, F., Riepl, D., Schmidt, S., Xanke, J., Goldscheider, N., (2018). Set-up of an early warning system for an improved raw water management of karst groundwater resources in the semi-arid side Wadis of Jordan Valley. *Geophysical Research Abstract*. Vol. 20.
- Haryono, E., Sasongko, M.H.D., Barianto, D.H., Setiawan, J.B., Hakim, A.A., Zaenuri, A., (2018). The geomorphology and hydrogeology of the karstic Islands Maratua, East Kalimantan, Indonesia: the potential and constraints for tourist destination development, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, vol 148, doi:10.1088/1755-1315/148/1/012014.
- Kamble, R., Kakade, S., Mahajan, A., Bhosale, A., (2017). Automatic water quality monitoring system using arduino, *IJRIER*, Vol. 2, hal 87 - 90.
- Matthies, K., dan Obst, U., (2011). Concept of appropriate water treatment in the karst region Gunung Kidul, Southern Java, Indonesia. dalam Haryono, E., Adjie, T.N., Suratman, 2011. *Asian Trans Dicipinary Karst Conference. Proceedings*. Yogyakarta.
- Mohsin, M., Safdar, S., Asghar, F., & Jamal, F. (2013). Assessment of drinking water quality and its impact on residents health in Bahawalpur City. *International Journal of Humanities and Social Science*, 3(15), 114–128.
- Odiyo, J.O. and Makungo, R., (2018). Chemical and Microbial Quality of Groundwater in Siloam Village, Implications to Human Health and Sources of Contamination. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 15, No. 317. <https://doi.org/10.3390/ijerph15020317>
- Pandian, dan Mala, K., (2015). Smart device to monitor water quality to avoid pollution in IoT environment. *IJETCS*. Vol 12. hal. 120 - 125.
- Podobnikar, T., Schoner, M., Jansa, J., Pfeifer, N., (2009). Spatial analysis of anthropogenic impact on karst geomorphology (Slovenia). *Environ Geol.*, Vol. 58, hal. 257-268, DOI 10.1007/s00254-008-1607-3
- Subratayati, A.M.F., (2008). Pengembangan Sumber Daya Air Sungai Bawah Tanah Bribin Di Kecamatan Semanu Kabupaten Gunung Kidul DIY, *Media Teknik Sipil*. Juli 2008
- Swamy, S.M., dan Mahalaksmi, G., (2017). Real time monitoring of water quality using smart sensor. *JETIR*. Vol. 4, hal. 139 - 144.
- van Beynen, P.E., van Beynen, K.M., (2011). Human disturbance of karst environments. In: van Beynen, P.E. (ed), 2011. *Karst Management*. DOI: 10.1007/978-94-007-1207-2\_17.
- Wardana, I.W., Budihardjo, M.A., Adesti, S.P., (2013). Kajian Sistem Penyediaan Air Bersih Sub Sistem Bribin Kabupaten Gunungkidul, *Jurnal PRESIPITASI*, Vol. 10 No.1. hal 18-29.
- Weingarten, A., dan Hofstadter, F., (2006). On-line monitoring network for drinking water security of karst water. The environment and macrophytes of intermitten watercourses. Viena.
- Widyastuti, M., Sudarmadji, Sutikno, dan Hendrayana, H., (2012). Kerentanan air tanah terhadap pencemaran daerah imbuhan ponor di karst Gunungsewu (Studi di daerah aliran sungai bawah tanah Bribin). *J. Manusia dan Lingkungan*, Vol. 19, No. 2, Juli 2012, hal. 128 – 142.