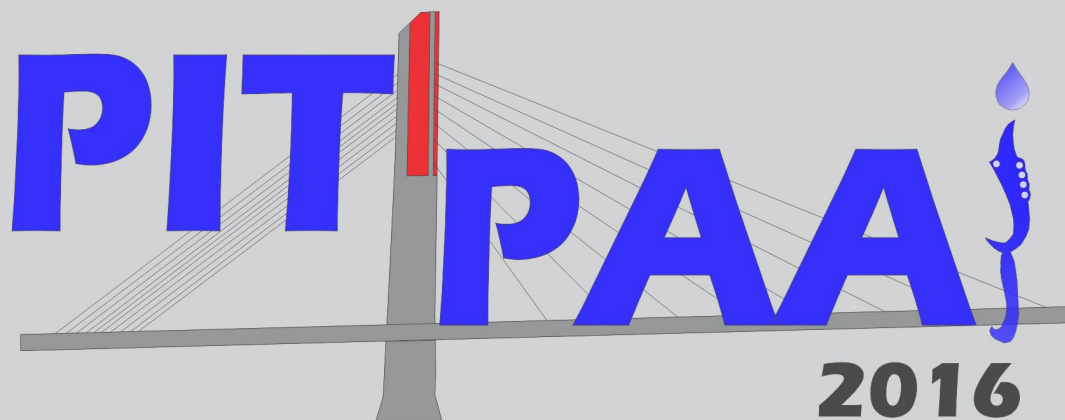


PROSIDING

Pertemuan Ilmiah Tahunan Ke-1 Perhimpunan Ahli Airtanah Indonesia (PIT - PAAI)

Bandung, 16 - 17 November 2016



Bekerjasama dengan:



**Perhimpunan Ahli Airtanah Indonesia
(PAAI)**



2017

PROSIDING

**Pertemuan Ilmiah Tahunan Ke-1
Perhimpunan Ahli Airtanah Indonesia (PIT-PAAI)**

PROSIDING

Pertemuan Ilmiah Tahunan Ke-1

Perhimpunan Ahli Airtanah Indonesia (PIT-PAAI)

Perhimpunan Ahli Airtanah Indonesia



Penerbit ITB

Cetakan 1, 2017

Hak Cipta dilindungi undang-undang
All Rights Reserved
©Penerbit ITB, 2017

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit ITB

Hak cipta pada Penerbit ITB, 2017

Data katalog dalam terbitan

INDONESIA, Perhimpunan Ahli Airtanah
PROSIDING Pertemuan Ilmiah Tahunan Ke-1 Perhimpunan Ahli Airtanah Indonesia
(PIT-PAAI) Oleh Perhimpunan Ahli Airtanah Indonesia. – Bandung.
Penerbit ITB, 2017
xi, 429h., 25 cm

ISBN 978-602-7861-77-0

Penerbit ITB, Jalan Ganesa 10 Bandung,
Anggota Ikapi No. 043/JBA (1)
Telp.: 022-2504257, Faks: 022-2534155
email:itbpress@penerbit.itb.ac.id

PROSIDING

Seminar Pertemuan Ilmiah Tahunan 1 Perhimpunan Ahli Airtanah Indonesia

Penanggung Jawab : Agus M. Ramdhan.,Ph.D

Dewan Editor Kehormatan

Prof. Dr. Sudarto Notosiswoyo
Prof. Lambok M Hutasoit, Ph.D
Prof. Dr. Robert Delinom
Prof. Rudi Sayoga
Dr. rer nat. Lilik Eko Wibowo
Wahyudin, ST.,MT

Dewan Editor

Ketua : Dr. Rusmawan Suwarman
Wakil Ketua : Irwan Iskandar.,Ph.D
Anggota : Dr. R. Fajar Lubis
Dr. Dasapta Erwin Irawan
Munib Ikhwatun Iman,ST.,MT
Asep Rohman,ST.,MT

Sekretariat/Distribusi: Indria Diah,ST
Riri Febrina,ST

Penata Cetak : Musti Atin, ST
Mika Raymond Batu Bara, ST
Boby Beni Wahana, ST
Dimas Maulana Wibowo,SSi

Materi Prosiding

Kumpulan prosiding yang dipresentasikan pada acara PIT 1 PAAI yang berkaitan dengan pemodelan airtanah, urban hydrogeology, pemanfaatan airtanah, kualitas airtanah, konservasi dan manajemen airtanah, hidrokimia dan lingkungan airtanah, serta hidrogeophysic.

Alamat Sekretariat dan Pengiriman Naskah

Jurusan Teknik Airtanah
Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan
Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha no. 10 Bandung
e-mail : sekretariat.paai@gmail.com

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya prosiding dan acara Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) PAAI ke -1 ini dapat terselenggara. Kami mengucapkan terima kasih atas dukungan dari semua pihak yang telah mendukung pelaksanaan PIT ini. Prosiding ini disusun berdasarkan hasil PIT PAAI ke-1 yang bertemakan “Pengelolaan Airtanah yang Ilmiah dan Bertanggung Jawab“ yang dilaksanakan pada tanggal 16-17 November 2016 di Bandung.

Prosiding ini berisi kumpulan makalah yang telah diseleksi untuk dipresentasikan dalam acara PIT PAAI ke 1. Kegiatan ini bertujuan untuk memperdalam pemahaman ilmiah tentang airtanah khususnya di Indonesia serta mempererat hubungan silaturahmi antar anggota PAAI. Semoga prosiding ini dapat bermanfaat bagi pengelolaan airtanah di Indonesia.

Bandung, Januari 2017

Agus M Ramdhan
Ketua PAAI

SAMBUTAN

Terima kasih... ucapan itulah yang pertama kali terbersit dalam benak saya selaku Ketua PIT PAAI I sebagai bentuk penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah menyukseskan penyelenggaraan PIT PAAI I ini. Kesuksesan yang ditunjukkan oleh jumlah peserta PIT yang kemudian diikuti oleh terbitnya *proceeding* PIT PAAI I yang memuat 48 karya ilmiah luar biasa dari para pemerhati, praktisi, akademisi, dan birokrat yang berkecimpung dalam pengelolaan air tanah di Indonesia. Jumlah peserta dan karya yang sejujurnya melampaui harapan panitia penyelenggara.

Tentu kesuksesan tersebut tidak saja dari sisi jumlah peserta maupun karya, kesuksesan juga dari cakupan tema karya yang begitu beragam mengupas berbagai isu pengelolaan air tanah yang akan memberikan sumbangsih penuh manfaat bagi pengelolaan air tanah Indonesia yang lebih baik di masa yang akan datang. Kita semua tentu berharap, seluruh karya yang dimuat dalam *proceeding* akan menjadi pemicu lahirnya karya-karya anak bangsa demi mewujudkan kedaulatan air tanah, air tanah untuk tanah air.

Salam...

Asep Rohman
Ketua PIT PAAI I

DAFTAR ISI

Pemodelan Aliran Air Tanah Pada Cekungan Airtanah di Antara Beberapa Gunungapi; Studi Kasus Cekungan Air Tanah Magelang-Temanggung, Jawa Tengah, Indonesia	1
Metode Evaluasi Mandiri Pengelolaan dan Perlindungan Sumber Air Tanah	11
Pemetaan Kerentanan Airtanah Terhadap Pencemaran Menggunakan Metode God di Kota Surakarta, Jawa Tengah.....	21
Evaluasi Kajian Risiko dan Adaptasi Perubahan Iklim dalam Perencanaan Pembangunan Daerah Studi Kasus Ketersediaan Air di Kabupaten Malang, Jawa Timur.....	35
Analisis Fisika-Kimia Airtanah untuk Mengevaluasi Kualitas Air Minum dan Irigasi di Desa Jangkang & Deluk, Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau.....	47
Identifikasi Konektifitas Reservoir Karbonat Berdasarkan Data Analisis Air Formasi: Studi Kasus Pada Formasi Baturaja, Cekungan Jawa Barat Utara, Indonesia ...	55
Pemetaan Cekungan Airtanah Pekanbaru Menggunakan Data VES (Vertical Electrical Sounding), Provinsi Riau, Indonesia	66
Analisis Ketersediaan Air Tanah Dangkal dan Kebutuhan Air Bersih di Desa Sukamoro, Kecamatan Talang Kelapa Kabupaten Banyuasin Provinsi Sumatera Selatan.....	75
Relasi Antara Air Danau Terhadap Airtanah yang Dimanfaatkan Masyarakat di Daerah Lalang Jaya Kecamatan Manggar Kabupaten Belitung Timur, Provinsi Bangka Belitung.....	93
Estimasi Konduktivitas Hidrolik Vertikal Akuitar Berdasarkan Data Suhu Bawah Permukaan di Daerah Majalaya (Studi Kasus: Sumur Pantau Majalaya).....	102
Sisi Lain Air Tanah di Daerah Non Cekungan Air Tanah (Manfaat Ganda : Mendapatkan Air dan Menghindari Bencana)	111
Efektifitas Taman Kota Sebagai Daerah Resapan di Kota Bandung Studi Kasus: Taman Lansia, Taman Monumen Perjuangan Rakyat Jawa Barat dan Taman Alun-Alun Ujungberung	123
Tipologi Air Tanah pada Beberapa Cat di Pulau Jawa.....	134

Karakteristik Hidrokimia Air Tanah di Dataran Tinggi Dieng: Efek Pertanian dan Panas Bumi	146
Geoelectric Survey for Groundwater Exploration at The Lampung Bay, Teluk Betung	165
Prioritas Pengelolaan Zona Konservasi Air Tanah di Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta	171
Pemanfaatan Air Tanah untuk Keperluan Irigasi di Wilayah Cekungan Air Tanah (CAT) Randublatung (Studi Kasus Keberhasilan Kelompok Tani P3a “Sumber Agung” di Desa Sumber, Kecamatan Kradenan, Kabupaten Blora)	195
Penentuan Zona Akuifer dan Eksplorasi Airtanah di Kecamatan Pracimantaro dan Paranggupito, Kabupaten Wonogiri, Provinsi Jawa Tengah Area Studi: Dusun Nglancing, Watangrejo, Kec. Pracimantaro dan Dusun Bangampel, Gendayakan, Kec. Paranggupito, Kab. Wonogiri	209
Karakteristik Hidrogeokimia dan Kualitas Airtanah Tidak Tertekan di Wilayah Pesisir Indramayu, Jawa Barat	218
Identifikasi Rongga Bawah Tanah di Daerah Karst Menggunakan Metode Tahanan Jenis 2-D Dengan Analisis Forward Modeling, Study Kasus: Daerah Karst di Kabupaten Wonogiri	234
Groundwater Quality Monitoring of Jakarta Groundwater Basin, Indonesia.....	245
Penurunan Kapasitas Imbuhan Air Tanah CAT Jakarta.....	253
Perubahan Karakteristik Hidrokimia Air Tanah pada Akuifer Tidak Tertekan dan Tertekan di Cekungan Air Tanah Jakarta.....	263
Korelasi Hasil Survei Tahanan Jenis 1D dengan Survei GPS untuk Mengevaluasi Penurunan Tanah di Jakarta Utara, Indonesia.....	273
Kajian Tingkat Pencemaran Air Tanah Berdasarkan Pemetaan Sumur dan Fisika-Kimia Air: Studi Kasus Daerah Tpa Banjarn, Purbalingga, Jawa Tengah.....	287
Analisis Keputusan Hidrogeologi : Optimasi <i>Sump</i> Pada Sistem Tambang Terbuka	308
Analisis Kelayakan Konsumsi Airtanah Berdasarkan Parameter Nilai TDS dan pH dengan Mengacu Permenkes RI No.492/Menkes/Per/IV/2010 pada Daerah Parigi, Kabupaten Pangandaran	319

Pengaruh Instalasi <i>Drain Hole</i> terhadap Penurunan Muka Airtanah pada Media Permeabilitas yang Berbeda (Studi Kasus Model Konseptual)	329
Analisis Tipe Airtanah dan Keberadaan Air Asin di Wilayah DKI Jakarta	342
Kajian Sistem Penirisan Tambang Batugamping Studi Kasus PT. Sinar Tambang Arthalestari di Desa Sawangan, Kecamatan Ajibarang, Banyumas, Provinsi Jawa Tengah.....	361
Analisis <i>Breakthrough Curve</i> untuk Karakterisasi Pelorongan di Sistem Sungai Bawah Tanah Pindul Kabupaten Gunungkidul.....	375
East DOZ Dewatering Program In DOZ Underground Mine, PT. Freeport Indonesia, Papua, Indonesia	386
Sebaran Resistivitas Batuan di Bawah Permukaan dalam Menentukan Potensi Sumber Daya Air Tanah di Kecamatan Gabus Wetan, Indramayu.....	394
Dampak Kondisi Geologi terhadap Kuantitas dan Kualitas Airtanah di DAS Cipunagara, Jawa Barat.....	403
Conceptual Modelling and Sensitivity Analysis of Jakarta Groundwater System Using IMOD	421
Pendekatan Rekayasa Sistem pada Pengelolaan Airtanah Kota-kota Besar di Indonesia – Sebuah Alternatif. 1. Konsep dan Kerangka Kerja	430

Pemetaan Kerentanan Airtanah Terhadap Pencemaran Menggunakan Metode GOD di Kota Surakarta, Jawa Tengah

Groundwater Vulnerability To Contamination Assessment Using GOD Method In Surakarta City, Central Java

Putranto, T. T.¹, Krisna W.¹, Revina R.¹, Soegiarto A²

¹Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

²Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Jawa Tengah

Contact person: putranto@ft.undip.ac.id

Abstract

Groundwater need in Surakarta city is fulfilled by withdrawn via unconfined aquifer and confined one. According to the quality aspect, groundwater in unconfined aquifer is very vulnerable to the contamination due to direct contact to the contaminant source. The purpose of this study is defining the level of groundwater vulnerability to contamination in Surakarta City. Thus it can be applied to utilize and manage groundwater in the proper way. GOD (Groundwater occurrence, Overlying lithology and Depth of groundwater) method was applied in this study to develop groundwater vulnerability. Type of the aquifer, lithology above aquifer, and groundwater depth of water table are the parameters to define the vulnerability level. Spatial analysis in the Geographic Information System (SIG) was applied to convert those parameters into rasters and then overlaid to conduct groundwater vulnerability map. Results show four (4) levels of groundwater vulnerability due to contamination: negligible, low, medium, and high.

Keywords: Surakarta, unconfined aquifer, GOD method, groundwater vulnerability, groundwater contamination

Abstrak

Kebutuhan air Kota Surakarta dipenuhi dari pemanfaatan akuifer bebas dan akuifer tertekan. Dari segi kualitas, airtanah pada akuifer bebas/akuifer tidak tertekan sangat rentan terhadap pencemaran. Hal ini disebabkan oleh kemungkinan besar yang dimiliki airtanah pada akuifer bebas untuk kontak langsung dengan sumber pencemarnya. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemaran di Kota Surakarta, sehingga dapat dilakukan pemanfaatan dan pengelolaan airtanah yang berwawasan lingkungan. Metode yang digunakan untuk menganalisis kerentanan airtanah terhadap pencemaran adalah metode GOD (*Groundwater occurrence, Overlying lithology and Depth of groundwater*). Parameter yang digunakan meliputi jenis akuifer, jenis litologi di atas akuifer, dan kedalaman muka airtanah tidak tertekan. Ketiga parameter tersebut dianalisis dengan menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) dan dilakukan *overlay* (tumpang tindih) antar-raster. Dari hasil analisis tersebut, didapatkan empat (4) kelas zona kerentanan airtanah terhadap pencemaran, yaitu sangat rendah, rendah, menengah, dan tinggi.

Kata kunci: Surakarta, akuifer bebas, metode GOD, zona kerentanan, pencemaran airtanah.

PENDAHULUAN (INTRODUCTION)

Kebutuhan manusia akan air semakin meningkat seiring bertambahnya jumlah penduduk di suatu daerah. Pentingnya kebutuhan air dilihat dari segi kuantitas maupun kualitas air. Dari segi kuantitas, air dapat diambil dari sumber air permukaan maupun air bawah permukaan atau yang biasa disebut sebagai airtanah yang tersimpan di dalam lapisan akuifer. Akuifer dibedakan menjadi dua, yakni akuifer bebas dan akuifer tertekan. Akuifer bebas memiliki bidang batas di bagian atas berupa zona tidak jenuh air dan dibatasi oleh muka airtanah (*water table*), sedangkan akuifer tertekan berada di bawah lapisan kedap air dan mempunyai tekanan yang lebih besar daripada tekanan atmosfer. Akuifer bebas sering dikaitkan dengan akuifer dangkal karena letak akuifer ini umumnya dekat dengan permukaan tanah (1-5 m di bawah permukaan tanah), sedangkan akuifer tertekan memiliki kedalaman yang lebih besar (lebih dari 30 m di bawah permukaan tanah). Dari segi kualitas, airtanah pada akuifer bebas sangat rentan terhadap pencemaran. Hal ini disebabkan karena akuifer tertekan memiliki lapisan litologi di atas yang kedap air (*impermeable*) pada bagian atasnya, sehingga mampu menghambat masuknya kontaminan dari permukaan. Mengingat pentingnya airtanah dan permasalahan lingkungan yang timbul, maka pemanfaatan airtanah harus didasarkan pada konsep keseimbangan (*balance*) dan kelestarian (*sustainable*) sumberdaya air tersebut atau konsep pengelolaan yang berwawasan lingkungan. Pengelolaan airtanah dilakukan dengan melakukan pengkajian dan pembuatan suatu pedoman untuk menjadi dasar

penentuan perencanaan dan manajemen airtanah. Pedoman tersebut berupa peta zona kerentanan airtanah.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui zona kerentanan airtanah terhadap pencemaran airtanah, mengetahui risiko kerentanan akibat pencemaran airtanah, dan memberikan rekomendasi pengelolaan airtanah berdasarkan analisis peta kerentanan airtanah terhadap pencemaran tersebut di Kota Surakarta, Provinsi Jawa Tengah.

STRATIGRAFI REGIONAL KOTA SURAKARTA

Wilayah Kota Surakarta termasuk ke dalam Peta Geologi Lembar Surakarta-Giritontro, yang menunjukkan susunan stratigrafi berupa endapan alluvium dan endapan Gunungapi Merapi dengan umur Kuartar. Berikut anggota batuan dari tua ke muda:

1. Formasi Alluvium Tua (Qt); terdiri dari konglomerat, batupasir, lanau, dan lempung, terbentuknya pada Kala Plistosen.
2. Formasi Gunung Merapi Muda (Qvm); terendapkan secara tidak selaras di atas Formasi Aluvium Tua dan Batuan Gunungapi Merapi Tua di sebagian besar bagian Barat cekungan, terdiri dari breksi gunungapi, lava, dan tuff.
3. Formasi Alluvium (Qa); terdiri dari material lepas berukuran lempung, lumpur, lanau, pasir, dan kerikil.

HIDROGEOLOGI REGIONAL KOTA SURAKARTA

Kota Surakarta termasuk kedalam Cekungan Airtanah (CAT)

Karanganyar-Boyolali (Arismunandar dkk., 2006). Berdasarkan peta hidrogeologi lembar Karanganyar-Boyolali, terdapat 4 jenis produktivitas akuifer di Kota Surakarta, yaitu sebagai berikut:

1. Akuifer produktivitas dengan persebaran luas

Akuifer dengan aliran melalui ruang antarbutir. Akuifer ini tersusun oleh Formasi Alluvium yang terdiri atas material berukuran lempung, lanau, pasir, kerikil, dan berangkal dengan nilai kelulusan 2,68 m/hari. Akuifer ini meliputi Kecamatan Banjarsari, sebagian Kecamatan Jebres, Kecamatan Pasar Kliwon, dan sebagian Kecamatan Laweyan.

2. Akuifer produktivitas sedang dengan persebaran luas Akuifer dengan aliran melalui ruang antarbutir. Akuifer ini tersusun oleh Formasi Alluvium yang terdiri atas material berukuran lempung, lanau, pasir, kerikil, dan berangkal dengan nilai kelulusan 1,3 m/hari. Akuifer ini meliputi sebagian Kecamatan Laweyan dan sebagian Kecamatan Serengan.

3. Akuifer produktivitas sedang dengan persebaran setempat

Akuifer dengan aliran melalui ruang antarbutir. Akuifer ini tersusun oleh Formasi Endapan Gunungapi Merapi Muda yang terdiri atas breksi gunungapi, lava dan tuff dengan nilai kelulusan 1,3 m/hari. Akuifer ini meliputi setempat Kecamatan Banjarsari di bagian Barat Laut.

4. Akuifer dengan tingkat produktivitas rendah

Akuifer dengan aliran melalui celah/rekahan pada batuan. Akuifer ini termasuk dalam daerah airtanah langka. Akuifer ini tersusun atas Formasi Endapan Gunungapi Merapi Muda yang terdiri atas breksi gunungapi, lava dan tuff, dengan nilai kelulusan 5.10^{-3} - 5.10^{-1} m/hari. Akuifer meliputi sebagian Kecamatan Banjarsari dan sebagian Kecamatan Jebres.

KERENTANAN AIRTANAH

Penilaian kerentanan air tanah untuk berbagai kontaminasi dalam lingkup dan kompleksitas dari pendekatan sederhana, kualitatif, dan relatif murah untuk penilaian yang ketat, kuantitatif, dan mahal telah diadopsi oleh beberapa peneliti (Focazio et al. 2002; Neukum et al. 2008; Martínez-Bastida et al. 2009; Sener et al. 2009; Foster et al. 2013)

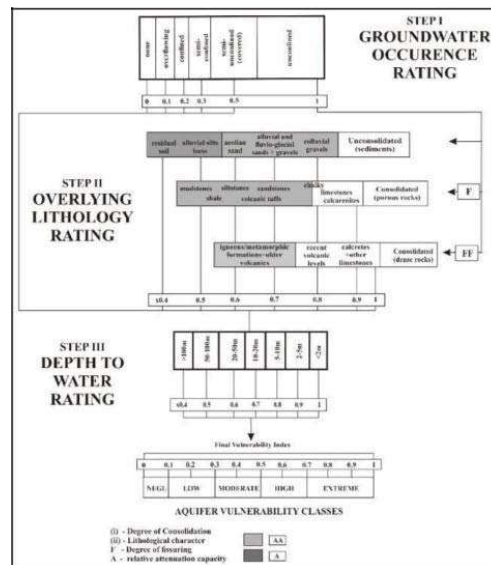
Menurut Harter (2001), kerentanan airtanah merupakan suatu ukuran mengenai kemampuan bertahan yang dimiliki airtanah terhadap polutan atau kontaminan dari permukaan tanah yang mencapai muka airtanah atau akuifer. Terdapat 2 jenis kerentanan airtanah, yaitu kerentanan airtanah intrinsik dan kerentanan airtanah spesifik. Kerentanan airtanah yang dipengaruhi oleh kondisi alamiah (imbunan airtanah, karakteristik airtanah, zona tidak jenuh air), disebut sebagai kerentanan airtanah intrinsik. Untuk kerentanan airtanah yang dipengaruhi oleh aktivitas manusia, disebut sebagai kerentanan airtanah spesifik.

Terdapat berbagai metode yang umum digunakan untuk menentukan

kerentanan airtanah., Menurut Hendrayana (2011), penentuan kerentanan airtanah secara teknis dapat dibedakan menjadi 3 kelompok dasar, yaitu: Metode Pengaturan dan Kompleks Hidrogeologi (*Hydrogeological Complex and Settings Method*), Metode Sistem Parametrik (*Parametric Method*), dan Model Sistem Hitung Poin (*Point Count System Models*). Metode Sistem Parametrik sendiri dibagi lagi menjadi 3, yaitu sistem matriks, sistem *rating*, dan sistem model hitung poin. Secara keseluruhan, prosedur ketiga kelompok Metode Parametrik ini adalah serupa, yaitu dengan menentukan parameter yang representatif yang mempengaruhi kerentanan airtanah. Penelitian ini menggunakan salah satu Metode Parametrik, yaitu Metode GOD (Foster, 1987 dalam Vrba dan Zaporesec, 1994) yang merupakan bagian dari sistem *rating*.

Metode GOD merupakan metode dengan struktur sederhana (Gambar 1) dan pragmatis yang dikemukakan oleh Foster (1987, dalam Vrba dan Zaporesec, 1994) dan pertama kali dikembangkan di Inggris. Metode GOD dirancang untuk memetakan kerentanan airtanah pada daerah yang luas, dengan prosedur *index-and-overlay* terhadap beberapa parameter (Harter, 2001). Parameter tersebut merupakan 3 parameter penting yang menjadi dasar penamaan metode ini, yaitu *Groundwater occurrence* (menunjukkan jenis akuifer sebagai penghasil airtanah), *Overall lithology* (menunjukkan jenis batuan yang berada di atas lapisan akuifer), dan *Depth to groundwater table* (menunjukkan kedalaman muka airtanah). Ketiga parameter tersebut selanjutnya diberikan *rating* (bobot) yang berbeda.

Indeks kerentanan dihitung dengan menggunakan formula dasar (Foster, 1987 dalam Dragoi dan Popa, 2004) sebagai berikut:



Gambar 1: Metode GOD untuk penentuan kerentanan airtanah terhadap pencemaran (Foster, 1987 dalam Dassargues & Gogu, 2000).

Metode GOD menggunakan 3 parameter, yaitu jenis akuifer, jenis litologi di atas akuifer, dan kedalaman muka airtanah tidak tertekan. Ketiga parameter dianalisis dengan melakukan prosedur *scoring* dan *overlaying*.

METODE PENELITIAN (METHODS)

Penelitian dilakukan secara berurutan sesuai dengan tiga tahap, yaitu tahap pendahuluan, tahap pengumpulan data, dan tahap analisis data.

Tahapan Pendahuluan

Tahapan pendahuluan yang dilakukan dalam penelitian mencakup persiapan dan perizinan ke lokasi yang akan diteliti, kemudian dilakukan studi

literatur, dan survei instansional yang diikuti dengan survei lapangan. Studi literatur yang dilakukan berupa pengumpulan referensi mengenai geologi regional Kota Surakarta, pencemaran airtanah, dan kerentanan airtanah, yang bersumber dari jurnal-jurnal dalam rangka memperkuat konsep dasar dari penelitian. Survei instansional merupakan survei terhadap data sekunder yang diperlukan yang telah tersedia pada instansi-instansi terkait, sedangkan survei lapangan dilakukan dengan cara mengobservasi langsung lapangan yang termasuk ke dalam wilayah pekerjaan.

Tahapan Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan di lapangan untuk mengumpulkan data sekunder dan data primer. Data sekunder yang dikumpulkan berupa data log hasil pemboran dari PDAM dan DPU Kota Surakarta. Data log bawah permukaan hasil pemboran yang didapatkan sebanyak 10 log, kemudian diplotkan ke dalam peta dan diolah untuk dijadikan pedoman. Data primer yang dikumpulkan berupa data hasil pengeplotan lokasi menggunakan GPS serta data muka airtanah dari akuifer bebas. Muka airtanah diketahui kedalamannya dengan melakukan pengukuran langsung pada sumur-sumur gali yang tersebar di seluruh area penelitian.

Tahapan Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan terhadap data primer dan sekunder untuk kemudian dianalisis. Beberapa bentuk pengolahan data mencakup: (1) pembuatan *flownet* atau yang lebih dikenal sebagai kontur airtanah, (2) visualisasi data log hasil pemboran

untuk menginterpretasikan kondisi bawah permukaan (satuan unit hidrostratigrafi), dan (3) penentuan tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemaran. Pengolahan data menggunakan bantuan beberapa perangkat lunak (*software*) yang memiliki fungsi masing-masing secara berurutan, yaitu *Surfer* dan *MapInfo*, *Rockworks*, serta *ArcGIS*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

(RESULT AND DISCUSIONS)

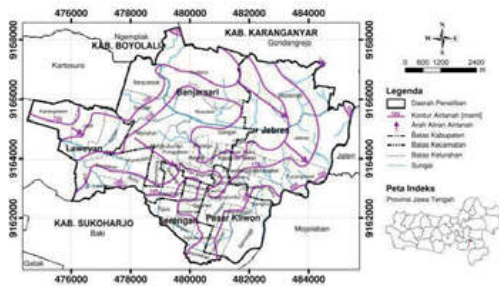
Hasil penelitian mencakup tiga analisis utama dari tahapan pengolahan data, yang mencakup kontur muka airtanah, kondisi bawah permukaan (unit hidrostratigrafi), dan pembagian zona kerentanan airtanah terhadap pencemaran di Kota Surakarta.

Airtanah Akuifer Tidak Tertekan Kota Surakarta

Litologi yang menjadi penyusun lapisan akuifer tidak tertekan (*unconfined aquifer*) di Kota Surakarta, berupa endapan alluvium dan endapan Gunungapi Merapi, yang keduanya berumur Kwartir. Muka airtanah akuifer tak tertekan pada Kota Surakarta didapatkan dengan mengurangkan elevasi dengan kedalaman muka airtanah. Data elevasi dan kedalaman muka airtanah didapatkan dengan pengukuran langsung di lapangan, yaitu dengan menggunakan bantuan GPS dan pengukuran pada sumur-sumur gali yang menyebar di setiap kelurahan daerah penelitian.

Penyebaran airtanah akuifer tidak tertekan digambarkan dalam peta muka airtanah akuifer tidak tertekan Tahun 2015 (Gambar 2). Dapat diamati adanya perbedaan kedudukan muka

airtanah pada beberapa kecamatan. Wilayah dengan letak muka airtanah tertinggi adalah Kecamatan Banjarsari (bagian Utara) dan Kecamatan Laweyan (bagian Barat Laut), dengan ketinggian 105-110 maml (meter di atas muka laut), sedangkan wilayah dengan letak muka airtanah terendah adalah Kecamatan Pasar Kliwon dengan ketinggian 75 maml. Airtanah memiliki arah pergerakan dari Barat Daya menuju Tenggara.



Gambar 2. Peta kontur muka airtanah akuifer tidak tertekan Tahun 2015

Kondisi Hidrostratigrafi Kota Surakarta

Kondisi penyusun bawah permukaan didapatkan dengan cara memvisualisasikan beberapa data log pemboran. Hasil visualisasi tersebut disederhanakan menjadi kelompok batuan yang dibedakan berdasarkan sifat dan interaksi batuan dengan air sebagai 3 unit hidrostratigrafi, yaitu akuifer, akuitar, dan akuiklud. Unit akuifer tersusun atas batupasir dan tuff, unit akuitar tersusun atas breksi, dan unit akuiklud tersusun atas lempung dan andesit.

Penyebaran akuifer yang menyusun Kota Surakarta digambarkan dalam *section* (**Lampiran 1**) yang membentang dari Barat-Timur sebagai profil unit hidrostratigrafi A-A' dan

section yang membentang dari Utara-Selatan sebagai profil unit hidrostratigrafi B-B'.

Profil A-A' ditarik dari daerah Karangasem hingga Jebres. Di sekitar Karangasem, Mojosongo, dan Jurug, terlihat keberadaan akuifer tertekan (*confined*) di dekat permukaan dengan ketebalan berkisar antara 5-30 m. Di sekitar Manahan dan Jebres, terlihat keberadaan akuifer bebas (*unconfined*) dengan ketebalan berkisar antara 75-90 m, serta keberadaan akuifer tertekan di bagian yang lebih dalam dengan ketebalan berkisar antara 5-10m. Profil B-B' ditarik dari daerah Kadipiro hingga Kampung Sewu. Di sekitar Mojosongo, Jebres, dan Kampung Sewu terlihat keberadaan akuifer bebas dengan ketebalan 25-90 m., serta akuifer tertekan pada bagian yang lebih dalam dengan ketebalan berkisar antara 20-60 m.

Penyebaran akuiklud dapat diamati cenderung menebal ke arah Utara (Kadipiro), dengan ketebalan berkisar antara 5-25 m, sedangkan penyebaran akuitar cenderung menebal ke arah Timur

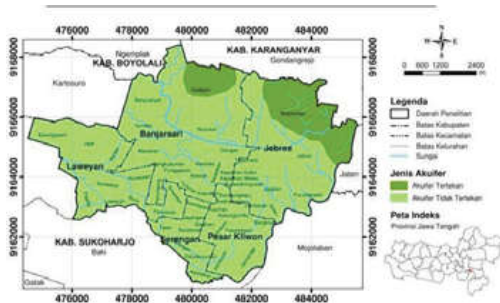
Parameter Kerentanan Airtanah terhadap Pencemaran di Kota Surakarta

Metode GOD memiliki tiga (3) parameter untuk menentukan tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemaran, yaitu: parameter jenis akuifer, parameter jenis litologi di atas akuifer, dan parameter kedalaman muka airtanah dangkal.

Indeks Kerentanan GOD = Bobot
Groundwater occurrence × Bobot
Overlying lithology × Bobot
Depth data to groundwater table

a. Parameter jenis akuifer

Berdasarkan hasil visualisasi data log pemboran dengan menggunakan *software Rockwork 15*, didapatkan *section* dari kondisi bawah permukaan Kota Surakarta (Lampiran 1), berupa gambaran kondisi hidrostratigrafi. Berdasarkan *section* tersebut, dapat dianalisis akuifer penghasil airtanah di Kota Surakarta, terdiri dari 2 jenis, yaitu akuifer tidak tertekan (*unconfined aquifer*) dan akuifer tertekan (*confined aquifer*), seperti pada **Gambar 3**. Kedua jenis akuifer tersebut kemudian diberi pembobotan nilai, yaitu berdasarkan Metode GOD (Gambar 1) untuk tahap 1, yaitu *groundwater occurrence rating*, seperti pada Tabel 1. Pemberian skor berikut menunjukkan bahwa akuifer tidak tertekan memiliki kemungkinan yang lebih besar daripada akuifer tertekan untuk mengalami pencemaran.



Gambar 3. Peta parameter jenis akuifer

Tabel 1. Perhitungan skor parameter jenis akuifer.

Jenis akuifer	Skor
Akuifer tak tertekan	0,2
Akuifer tertekan	1

Kota Surakarta memiliki persebaran akuifer tidak tertekan lebih banyak daripada akuifer tertekan. Hanya didapatkan persebaran akuifer tertekan pada bagian Utara Kadipiro, Kecamatan Banjarsari, dan Mojosongo, Kecamatan Jebres. Untuk akuifer tidak tertekan menyebar secara keseluruhan di kecamatan lainnya.

b. Parameter jenis litologi di atas akuifer

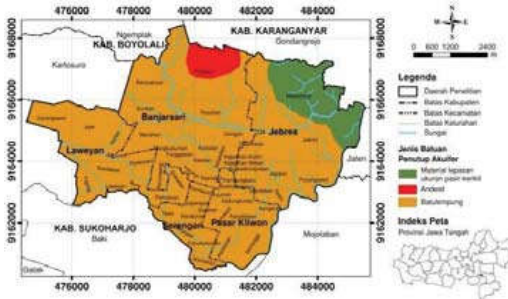
Berdasarkan analisis terhadap data log pemboran, dapat diketahui litologi penyusun di bawah permukaan Kota Surakarta. Kelompok batuan yang terletak di atas akuifer dikelompokkan sebagai lapisan litologi di atas akuifer. Ketiga jenis litologi yang berbeda tersebut diberi pembobotan nilai, yaitu seperti yang digambarkan pada Metode GOD untuk tahap 2, yaitu *overlying lithology rating* seperti pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Perhitungan skor parameter jenis litologi di atas akuifer.

Jenis litologi di atas akuifer	Skor
Batulempung	0,5
Andesit	0,6
Soil/Alluvial	0,7

Tabel tersebut menunjukkan bahwa material tanah penutup/alluvial dapat memperbesar peluang tercemarnya airtanah, karena bersifat meloloskan air dengan mudah. Litologi berupa lempung dan andesit bersifat tidak dapat menyimpan dan mengalirkan air dengan baik, sehingga dapat

meminimalisir pergerakan kontaminan dari permukaan menuju akuifer. Pada Gambar 4, menggambarkan persebaran 3 jenis litologi penutup yang menyusun akuifer di Kota Surakarta.



Gambar 4. Peta parameter jenis litologi di atas akuifer.

Kota Surakarta memiliki persebaran litologi di atas akuifer, yaitu lempung di bagian Timur Laut Mojosoongo dan bagian Utara Jebres (Kecamatan Jebres), andesit di bagian Utara Kadipiro, Kecamatan Banjarsari, dan lapisan tanah penutup (*soil/alluvial*) yang tersebar di seluruh bagian lain di Kota Surakarta.

c. Parameter kedalaman muka airtanah tak tertekan

Kedalaman muka airtanah didapatkan dengan cara pengukuran langsung di lapangan, yaitu dengan mengukur muka airtanah pada sumur-sumur gali yang tersebar secara merata di Kota Surakarta. Kedalaman muka airtanah dikelompokkan menjadi lima (5) kelas, yang kemudian diberi pembobotan nilai sesuai Metode GOD untuk tahap 3, yaitu *depth to water rating*, seperti pada **Tabel 3**.

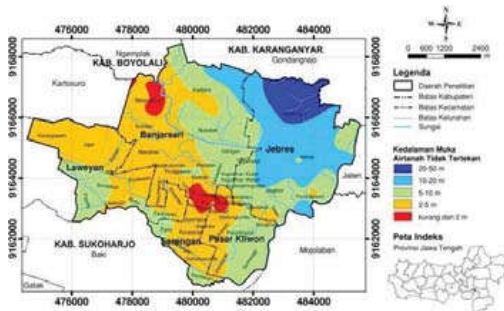
Tabel 3 Perhitungan skor parameter kedalaman muka airtanah tak tertekan.

Kedalaman airtanah tak tertekan (m)	Skor
20,1-50	0,6
10,1-20	0,7
5,1-10	0,8
2-5	0,9
< 2	1

Tabel di atas menunjukkan bahwa semakin dangkal muka airtanah, maka semakin besar nilai kerentanan terhadap pencemaran. Muka airtanah yang digunakan merupakan muka airtanah tak tertekan (sumur gali). Hal ini dilakukan dengan pertimbangan bahwa sumur gali lebih rentan terhadap pencemaran. Sumur gali biasanya memanfaatkan akuifer tidak tertekan (tidak terdapat lapisan penutup) sehingga lebih mudah untuk dimasuki kontaminan daripada sumur dalam (yang biasanya berupa akuifer tertekan).

Pada Gambar 5, menunjukkan kedalaman muka airtanah dari akuifer tidak tertekan. Daerah dengan kedalaman muka airtanah terdangkal didelineasi dengan warna merah, yaitu bagian Timur Banyuanyar, Kecamatan Banjarsari, bagian Timur Timuran, bagian Selatan Keprabon, sebagian kecil Ketelan (Kecamatan Banjarsari), bagian Utara dan tengah Kemplayan (Kecamatan Serengan), bagian Utara Kauman, dan bagian Selatan Sudiroprajan (Kecamatan Pasar Kliwon). Daerah dengan kedalaman muka airtanah terdalam didelineasi dengan warna biru tua, berada di bagian

Timur Laut Kadipiro, Kecamatan Banjarsari, sebagian besar Mojosongo, sebagian besar Jebres, dan sebagian kecil Pucangsawit (Kecamatan Jebres).



Gambar 5 Peta parameter kedalaman muka airtanah tidak tertekan.

Zona Kerentanan Airtanah terhadap Pencemaran di Kota Surakarta

Pembagian zona kerentanan airtanah terhadap pencemaran di Kota Surakarta dilakukan sesuai dengan metode GOD (Foster, 1987, dalam Vbra dan Zaporosec, 1994), yaitu dengan cara mengalikan ketiga parameter yang sebelumnya telah diberi nilai pembobotan. Analisis spasial ini dilakukan dengan menggunakan *software ArcGIS*, khususnya menu

Raster Calculator pada *Arc Toolbox*. Pemberian nilai pada masing-masing parameter akan menentukan tingkat kerentanan yang terdiri dari empat (4) kelas kerentanan airtanah terhadap pencemaran di Kota Surakarta, seperti pada **Tabel 4**.

Teknik *scoring* dalam metode analisis spasial dilakukan dengan cara memberikan nilai rendah untuk parameter yang dianggap menjadi faktor tingkat kerentanan rendah, dan memberikan nilai tinggi untuk

parameter yang dianggap menjadi faktor tingkat kerentanan tinggi. Peta kerentanan selanjutnya dibuat dengan cara mengalikan tiga peta parameter yang telah diberikan nilai pembobotan dan dalam format file *Raster*.

Tabel 4. Perhitungan skor parameter jenis litologi di atas akuifer.

Tingkat Parameter Kerentanan	Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi
Jenis akuifer	0,2	0,2	1	1
Jenis litologi di atas akuifer	0,5 - 0,6	0,6	0,7	0,7
Kedalaman MAT Tak Tertekan	0,6 - 0,8	0,9	0,7 - 0,8	0,8 - 1

Zona kerentanan sangat rendah atau zona yang dapat diabaikan, memiliki rentang nilai 0,06-0,1, merupakan daerah dengan sumber airtanah dari akuifer tertekan, litologi di atas akuifer berupa andesit dan lempung, serta memiliki kedalaman muka airtanah kurang dari 5-50 mbmt. Zona kerentanan sangat rendah tersebar di bagian Utara Kadipiro, Kecamatan Banjarsari; Bagian Timur Mojosongo, bagian Timur Laut Jebres, Kecamatan Jebres.

Zona kerentanan rendah memiliki rentang nilai 0,11-0,3, merupakan daerah dengan sumber airtanah dari akuifer tertekan, litologi di atas akuifer berupa andesit, serta memiliki kedalaman muka airtanah antara 2-5 mbmt. Zona kerentanan rendah tersebar secara setempat di Kadipiro, Kecamatan Banjarsari.

Zona kerentanan menengah memiliki rentang nilai 0,31-0,5, merupakan daerah dengan sumber airtanah dari akuifer tidak tertekan, litologi di atas akuifer berupa lempung, serta memiliki

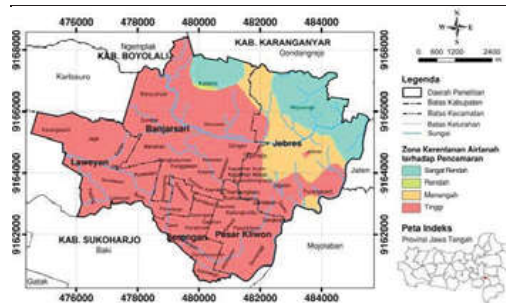
kedalaman muka airtanah antara 5-20 mbmt. Zona kerentanan menengah tersebar di bagian Timur Laut Kadipiro, Kecamatan Banjarsari; bagian Barat Mojosongo, sebagian besar Jebres, bagian Utara Purwodiningratan, bagian Barat Laut Jagalan, serta bagian Utara dan Selatan Pucangsawit, Kecamatan Jebres.

Zona kerentanan tinggi memiliki rentang nilai 0,51-0,7, merupakan daerah dengan sumber airtanah dari akuifer tidak tertekan, litologi di atas akuifer berupa tanah penutup/alluvial, serta kedalaman muka airtanah 5 mbmt hingga kurang dari 2 mbmt. Zona kerentanan tinggi tersebar di seluruh Kecamatan Laweyan, seluruh Kecamatan Serengan, seluruh Kecamatan Pasar Kliwon, sebagian besar Kecamatan Banjarsari, dan bagian Selatan serta setempat di Kecamatan Jebres.

Berdasarkan metode GOD, tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemaran di Kota Surakarta dikelompokkan menjadi 4 kelas seperti pada **Tabel 5** dan digambarkan persebarannya dalam peta zona kerentanan airtanah terhadap pencemaran (**Gambar 6**).

Tabel 5. Zona kerentanan airtanah terhadap pencemaran berdasarkan nilai akhir hasil pengalihan tiga peta parameter, sesuai metode GOD (Foster, 1987, dalam Vrba dan Zaporesec, 1994).

Kelas Kerentanan untuk pencemaran Airtanah	Nilai Akhir
Kerentanan tinggi	0,51-0,7
Kerentanan menengah	0,31-0,5
Kerentanan rendah	0,11-0,3
Kerentanan sangat rendah	0,06-0,1



Gambar 6. Peta kerentanan airtanah terhadap pencemaran.

Berikut ditampilkan pembagian tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemaran (**Tabel 6**), berdasarkan hasil perhitungan menurut nilai beban masing-masing. Dalam matriks tersebut juga dijelaskan sifat dan persebaran dari setiap tingkat kerentanan.

Tabel 6 Pembagian zona berdasarkan tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemaran di Kota Surakarta.

Nilai	Tingkat kerentanan	Sifat	Persebaran
0,06-0,1	Tidak tercemar	Hanya dapat tercemar oleh polutan tertentu yang dibuang secara terus dalam jangka waktu yang relatif lama.	Kec. Jebres
			1. Mojosongo (Barat Daya)
			2. Jebres (Timur Laut)
			Kec. Banjarsari
			1. Kadipiro (Utara-pusat)
0,11-0,3	Rendah	Dapat tercemar oleh polutan tertentu yang dibuang secara menerus.	Kec. Banjarsari
			1. Kadipiro (setempat)
0,31-0,5	Sedang	Dapat tercemar oleh sebagian polutan yang dibuang secara menerus	Kec. Banjarsari
			1. Kadipiro (Timur Laut)
			Kec. Jebres
			1. Mojosongo (Barat)
			2. Jebres
			3. Kepatihan Wetan (Utara)
4. Jagalan (Barat Laut)			
5. Pucangsawit (Utara dan Selatan)			
0,51-0,7	Tinggi	Dapat tercemar oleh semua polutan, kecuali yang memerlukan daya serap tinggi dan mudah berubah, dalam waktu berbagai skenario.	Kec. Banjarsari
			1. Kadipiro
			2. Banyuanyar
			3. Sumber
			4. Manahan
			5. Nusukan
			6. Gilingan
			7. Mangkubumern
			8. Punggawan
			9. Kestalan
			10. Ketelan
			11. Setabelan
			12. Kepatihan Kulon
			13. Penumping
			14. Timuran
			15. Keprabon
			Kec. Jebres
			1. Tegalharjo
			2. Jebres (setempat)
			3. Kepatihan Wetan
			4. Purwodiningratan
5. Jagalan			
6. Pucangsawit			
7. Sewu			
8. Gandekan			
9. Kampungbaru			

KESIMPULAN (CONCLUSION)

Berdasarkan hasil analisis zona kerentanan airtanah terhadap pencemaran di Kota Surakarta, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Litologi yang menjadi penyusun lapisan akuifer tidak tertekan (*unconfined aquifer*) di Kota Surakarta, berupa endapan alluvium dan endapan Gunungapi Merapi, yang keduanya berumur Kuartar.
2. Unit akuifer tersusun atas breksi, dan unit akuiklud tersusun atas lempung dan andesit.
3. Zona kerentanan airtanah terhadap pencemaran memiliki 4 kelas, yaitu sangat rendah, rendah, menengah, dan tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH (ACKNOWLEDGEMENT)

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pemerintah Kota Surakarta cq. Badan Lingkungan Hidup serta Pemerintah Provinsi Jawa Tengah cq. Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral atas dukungan dalam penelitian ini.

REFERENCES

- Arismunandar, A., Dadi, H., dan Salahudin. 2006. *Peta Hidrogeologi Cekungan Airtanah Karanganyar-Boyolali*. Bandung: Badan Geologi.
- Dassargues, A., dan Gogu, R. C. 2000. *Current Trends and Future Challenges in Groundwater Vulnerability Assessment using Overlay and Index Methods* dalam *Environmental Geology* 39 (6) April. Springer-Verlag.
- Focazio, M., Thomas E. Reilly, Michael G. Rupert, Dennis R. Helsel. 2002. *Assessing groundwater vulnerability to contamination*. US. Geological Survey circular; 1224.
- Foster, S., Hirata, R. and Andreo, B. 2013. The aquifer pollution vulnerability concept: aid or impediment in promoting groundwater protection? *Hydrogeology Journal*, 21, pp.1389–1392.
- Harter, T., dan Walker, L. G. 2001. *Booklet: Assessing Vulnerability of Groundwater*. California Department of Health Services.
- Hendrayana, H. 2011. *Pengantar Kerentanan Airtanah terhadap Pencemaran dan Pemompaan Airtanah*. Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. (Tidak Dipublikasikan).
- Martínez-Bastida, J.J., Arauzo, M., and Valladolid, M. 2009. Intrinsic and specific vulnerability of groundwater in central Spain: the risk of nitrate pollution. *Hydrogeology Journal*, 18(3), pp.681– 698.
- Neukum, C., Hötzl, H. & Himmelsbach, T., 2008. Validation of vulnerability mapping methods by field investigations and numerical modelling. *Hydrogeology Journal*, 16(4), pp.641–658.
- Popa, R., dan Dragoi, I. J. 2004. *Vulnerability Assessment of a*

- Shallow Aquifer Situated in Danube's Plain (Oltenia-region, Romania) Using Different Overlay and Index Methods*. London, UK: Taylor & Francis Group.
- Sudarno, I., dan Toha, T. B. 1992. *Peta Geologi Lembar Surakarta-Giritontro*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Sener, E., Sener, S. & Davraz, A. 2009. Assessment of aquifer vulnerability based on GIS and DRASTIC methods: A case study of the Senirkent-Uluborlu Basin (Isparta, Turkey). *Hydrogeology Journal*, 17(8), pp.2023–2035.
- Vrba, J., dan Zaporozec, A. 1994. *Guidebook On Mapping Groundwater Vulnerability*. Hannover: H. Heise

Lampiran 1

