Adji, T.N., Nurjani, E.M., Wicaksono, D., 2014, Zonasi Potensi Airtanah Dengan Menggunakan Beberapa Parameter Lapangan dan Pendekatan SIG di Daerah Kepesisiran, Hibah Sekolah Vokasi UGM, 2014

**Zonasi Potensi Airtanah Dengan Menggunakan Beberapa Parameter
Lapangan dan Pendekatan SIG di Daerah Kepesisiran**

Oleh:

**TJAHYO NUGROHO ADJI
EMILYA NURJANI
DHONI WICAKSONO**

LAPORAN AKHIR PENELITIAN

**Zonasi Potensi Airtanah Dengan Menggunakan Beberapa Parameter
Lapangan dan Pendekatan SIG di Daerah Kepesisiran**

*Groundwater Potential Zonation by Using Several Field Parameters and a GIS
Approach in a Coastal Area*

**TJAHYO NUGROHO ADJI
EMILYA NURJANI
DHONI WICAKSONO**

**DILAKSANAKAN ATAS BIAYA DANA MASYARAKAT
BERDASAR KONTRAK NO: UGM/SV/1175.100/III/2014**

**SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA
YOGYAKARTA
2014**

HALAMAN PENGESAHAN
LAPORAN PENELITIAN SEKOLAH VOKASI UGM 2014

1.	a. Judul Penelitian	Zonasi Potensi Airtanah Dengan Menggunakan Beberapa Parameter Lapangan dan Pendekatan SIG di Daerah Kepesisiran
	b. Bidang Ilmu	Teknologi Kebumian
	c. Macam Penelitian	Terapan
2.	Peneliti Utama	
	a. Nama Lengkap	Dr. Tjahyo Nugroho Adji, S.Si,M.Sc.Tech
	b. Jenis kelamin	Laki-laki
	c. NIP	197201281998031001
	d. Jabatan Fungsional	Lektor Kepala
	e. Prodi	Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografi
	f. HP/E-mail	08122967492/ adji@geo.ugm.ac.id
3.	Peneliti Kedua	
	a. Nama Lengkap	Emilya Nurjani, S.Si, M.Si
	b. Jenis kelamin	Perempuan
	c. NIP	197110071998032001
	d. Jabatan Fungsional	Lektor
	e. Prodi	Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografi
	f. HP/E-mail	081328819400/n_emilya@geo.ugm.ac.id
4.	Jumlah anggota peneliti	1
5.	Lokasi Penelitian	sebagian daerah kepebisiran Parangtritis, DIY
6.	Kerjasama dengan institusi lain	-
7.	Jangka waktu	8 (delapan) bulan, 1 Maret 2014 s.d. 31 Oktober 2014
8.	Biaya yang disetujui	Rp. 10.000.000,- (sepuluh juta rupiah)

Yogyakarta, 25 November 2014

Menyetujui,
Ketua Program D3 PJSIG

Peneliti Utama

Taufik Hery Purwanto, SSi, MSi.
NIP. 196804011997021001

Dr. Tjahyo N. Adji, MSc.Tech
NIP. 197201281998031001

Menyetujui, Direktur Sekolah Vokasi
Universitas Gadjah Mada

Ir. Hotma Prawoto Sulistiyadi, M.T.
NIP. 195603081985031001

INTISARI

Sebuah studi kasus telah dilakukan untuk membuat zona potensi airtanah di daerah sekitar Pantai Parangtritis, Provinsi DIY. Tujuan dari penelitian adalah untuk memetakan zona potensi airtanah berdasarkan parameter airtanah yang dapat disurvei di lapangan pada suatu daerah yang memiliki variasi bentuklahan yang beragam. Interpretasi sebaran bentuklahan dimulai dengan menyiapkan data pendukung seperti Peta Rupa Bumi Indonesia yang berisi informasi garis kontur dan data penggunaan lahan data, peta geologi regional untuk mengetahui kondisi litologi dan struktur geologi, data tanah, iklim, dan data hidrologis awal. Penentuan satuan bentuk lahan dilakukan secara manual melalui interpretasi visual dari citra Digital Landsat ETM⁺ dengan beberapa kunci interpretasi yang diperoleh dari data sekunder dan disurvei di lapangan. Selanjutnya dilakukan pengukuran parameter lapangan potensi airtanah yaitu (a) kedalaman muka airtanah, (b) ketebalan akuifer, dan (c) Daya Hantar Listrik (DHL) yang mewakili kualitas airtanah. Zonasi potensi airtanah diperoleh dengan melakukan overlay semua parameter lapangan airtanah dengan metode overlay tertimbang menggunakan alat analisis spasial Sistem Informasi Geografi (SIG) pada perangkat lunak ArcGIS 9.2. Pada proses overlay tertimbang, peringkat yang dihasilkan untuk setiap parameter individu pada masing-masing parameter lapangan airtanah dibobot berdasarkan tingkat pengaruh yang mereka miliki terhadap potensi airtanah, yaitu, kedalaman muka airtanah sebesar 35%, ketebalan akuifer sebesar 35%, dan DHL sebesar 30%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari seluruh luasan wilayah kajian yang diteliti, mayoritas potensi airtanah tergolong pada kelas baik (49,8%) dan sedang (48,7%). Sementara itu, kelas miskin airtanah hanya menempati luasan yang sangat kecil, yaitu hanya 1,5% dari total luas wilayah kajian. Sementara itu, jika ditinjau tiap satuan bentuk lahan, maka bentuklahan Beting Gisik mempunyai sebaran potensi airtanah yang paling luas (30,4%), yang disusul oleh bentuklahan Dataran Aluvial (11%).

Kata kunci: Potensi Airtanah, SIG, bentuklahan, parameter lapangan airtanah

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang dan Permasalahan

Kelangkaan airtanah, baik dari segi kualitas maupun kuantitas, untuk memenuhi kebutuhan air penduduk merupakan isu strategis yang mencuat akhir-akhir ini (Adji dan Noordianto, 2006). Berbagai permasalahan yang sering timbul akibat adanya kesalahan manajemen airtanah diantaranya adalah penurunan muka airtanah (*cone of depression*), degradasi kualitas airtanah, intrusi air laut, dan fenomena penurunan muka tanah (*land subsidence*) (Adji, 2003; Adji, 2007).

Airtanah bersifat dinamis dan dipengaruhi oleh sejumlah faktor alam. Geologi dan geomorfologi sangat menentukan prospek tanah di suatu daerah (Sejati dan Adji, 2013). Struktur geologi mempengaruhi arah gerakan airtanah, jenis dan ketebalan akuifer. Stratigrafi dari beberapa lapisan batuan dapat berpengaruh pada jenis, kedalaman, dan ketebalan akuifer. Sementara itu, pengaruh litologi akuifer adalah pada permeabilitas dan konsentrasi ion terlarut. Morfologi relief permukaan bumi mempengaruhi terjadinya dan arah gerakan airtanah. Perubahan topografi permukaan mempengaruhi kedalaman muka airtanah dan arah gerakan airtanah. Morfogenesis mempengaruhi permeabilitas, porositas, dan laju infiltrasi. Karena ada hubungan yang kuat antara kondisi geologi-geomorfologi dan airtanah, maka kondisi geologi dan geomorfologi dapat dipelajari untuk menentukan distribusi sumber daya potensial airtanah di suatu daerah (Santosa dan Adji, 2014).

Dengan perkembangan teknologi penginderaan jauh dan kinerja spasialnya yang akurat dalam proses georeferensi, maka faktor-faktor yang berpengaruh pada prospek airtanah dapat lebih mudah diidentifikasi dalam skala yang luas. Daerah kepebisiran merupakan daerah yang mempunyai keragaman bentuk lahan yang cukup kompleks karena banyaknya proses geomorfologi yang bekerja baik di masa lampau maupun masa sekarang. Di antara proses-proses tersebut adalah proses marine, angin, maupun aluvial. Karena kompleksnya bentuk lahan hasil proses tersebut, secara teoritis akan mengontrol kondisi airtanahnya. Maka penelitian ini akan mengaplikasikan SIG untuk memetakan potensi airtanah pada suatu daerah yang mempunyai keragaman bentuk lahan, yakni di daerah kepebisiran.

Pada kebanyakan studi zonasi potensi airtanah yang sudah banyak dilakukan, dalam hal ini umumnya ahli SIG menggunakan faktor-faktor penentu potensi airtanah seperti faktor geologi, kelerengan, vegetasi, penggunaan lahan dan iklim untuk membuat zonasi

potensi airtanah. Adapun dalam studi ini, potensi airtanah diperkirakan dengan memetakan beberapa parameter berpengaruh yang mudah diukur di lapangan (Adji and Sejati, 2014). Beberapa parameter spesifik potensi airtanah yang berhubungan dengan kondisi geologi dan geomorfologi, yaitu sebagai berikut: (1) kedalaman ke muka airtanah, yang berhubungan dengan kondisi topografi, (2) fluktuasi muka airtanah, yang erat berhubungan dengan topografi dan litologi, (3) Daya Hantar Listrik, sebagai salah satu parameter kualitas air, yang berhubungan dengan penggunaan lahan dan jenis litologi, dan (4) ketebalan akuifer, yang sangat erat kaitannya dengan struktur geologi dan paleo geomorfologi. Selanjutnya, dengan menggunakan parameter-parameter ini, maka SIG mempunyai fasilitas untuk membuat zona potensi airtanah. Keuntungan lain dari metode ini bahwasanya tidak perlu dilakukan pengecekan lapangan setelah zonasi didapatkan, karena zonasi yang ada sudah merupakan hasil dari proses SIG yang databasenya merupakan hasil pengukuran lapangan.

1.2. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyajikan peta distribusi potensi airtanah yang tergantung pada empat faktor airtanah potensial yang dapat disurvei di lapangan dan untuk menggabungkan kondisi geomorfologi di daerah penelitian, yang dibantu dengan fasilitas *geoprocessing* pada SIG.

Sementara itu, manfaat yang diharapkan yakni baik secara metodologi maupun untuk memperoleh zonasi potensi airtanah untuk keperluan pemanfaatan dan konservasi airtanah di wilayah kepebisiran.

1.3. LANDASAN TEORI

Airtanah

Airtanah adalah air yang berada di bawah permukaan tanah pada zona jenuh air, dengan tekanan hidrostatik sama atau lebih besar daripada tekanan udara. Sumber utama airtanah adalah air hujan yang meresap ke dalam tanah mengikuti suatu proses yang disebut sebagai daur hidrologi (Purnama, 2000). Menurut Todd (1980), airtanah adalah air yang terdapat dalam tanah atau batuan, menempati ruang-ruang antar butir batuan serta berada dalam celah-celah batuan. Berdasarkan daur hidrologi, airtanah berasal dari air hujan yang bergerak ke bawah melalui zona aerasi yaitu zona yang berupa pori-pori tanah berisi air dan udara dalam jumlah yang berbeda-beda.

Air yang melalui zona aerasi ditahan oleh gaya-gaya kapiler pada pori-pori yang kecil atau oleh tarikan molekuler di sekitar partikel-partikel tanah. Apabila kapasitas retensi dari tanah pada zona ini telah dihabiskan, air akan bergerak ke bawah menuju pori-pori tanah atau batuan yang jenuh air yang disebut sebagai zona jenuh air (*zone of saturation*). Air yang terdapat pada zona jenuh air inilah yang disebut sebagai airtanah (Linsley, 1985). Perbedaan kondisi fisik secara alami akan mengakibatkan air dalam zonasi ini akan bergerak/mengalir baik secara gravitasi, perbedaan tekanan, kontrol struktur batuan dan parameter lainnya. Kondisi inilah yang disebut sebagai aliran airtanah. Daerah aliran airtanah ini selanjutnya disebut sebagai daerah aliran (*flow zone*).

Airtanah ditemukan pada formasi geologi permeabel (tembus air) yang disebut sebagai akuifer. Akuifer merupakan formasi pengikat air yang memungkinkan jumlah air yang cukup besar untuk bergerak melaluinya pada kondisi lapangan yang biasa. Pada akuifer, airtanah menempati pori-pori batuan, retakan ataupun patahan pada suatu batuan. Secara umum airtanah akan mengalir sangat perlahan melalui suatu celah yang sangat kecil dan atau melalui butiran antar batuan. formasi geologi merupakan faktor yang mempengaruhi proses terbentuknya airtanah. Formasi geologi adalah formasi batuan atau material lain yang berfungsi menyimpan airtanah dalam jumlah besar (Asdak, 1995). Dalam proses pembentukan airtanah, formasi-formasi yang berisi dan memancarkan airtanah dikenal sebagai akuifer (Linsley, 1985).

Airtanah tidak dapat ditemukan di setiap tempat. Ada tidaknya airtanah tergantung dari ada tidaknya lapisan batuan yang dapat mengandung airtanah yang disebut dengan akuifer. Menurut PP No. 43 tahun 2008 akuifer merupakan lapisan batuan jenuh airtanah yang dapat menyimpan dan meloloskan air dalam jumlah yang cukup. Artinya dapat mensuplai suatu sumur atau mata air pada suatu periode tertentu.

Akuifer (Gambar 1.1) sering pula disebut waduk air atau formasi air. Menurut Krussman dan Ridder (1970) bahwa akuifer dapat dikelompokkan menjadi berbagai macam, yaitu :

- a. Akuifer bebas (*unconfined aquifer*) yaitu lapisan air yang hanya sebagian terisi oleh air dan berada di atas lapisan kedap air. Permukaan tanah pada akuifer ini disebut dengan *water table* (preatik level), yaitu permukaan air yang mempunyai tekanan hidrostatik sama dengan atmosfer. Airtanah yang berasal dari akuifer bebas pada umumnya ditemukan pada kedalaman yang relatif dangkal atau kurang dari 40 m. Kasus khusus dari akuifer bebasa adalah akuifer menggantung (*perched aquifer*) yang terjadi akibat

terpisahannya airtanah dari tubuh airtanah utama oleh suatu formasi batuan kedap air (Kodoatie, 1996)

- b. Akuifer tertekan (*confined aquifer*) yaitu akuifer yang seluruh jumlahnya dibatasi oleh lapisan kedap air, baik yang atas maupun yang berada di bawah, serta mempunyai tekanan lebih besar daripada tekanan atmosfer.
- c. Akuifer semi tertekan (*semi confined aquifer*) yaitu akuifer yang seluruhnya jernih air, dimana bagian atasnya dibatasi dengan lapisan semi lolos air pada bagian bawahnya merupakan lapisan kedap air.
- d. Akuifer semi bebas (*semi unconfined aquifer*) yaitu akuifer yang bagian bawahnya merupakan lapisan kedap air, sedangkan material atasnya merupakan material berbutir halus sehingga pada lapisan penutupnya masih memungkinkan adanya gerakan air. Dengan demikian akuifer ini merupakan peralihan antara akuifer bebas dengan akuifer semi tertekan.

Gambar 1.1. Akuifer Bebas dan Tertekan (Israelsen dan Hanses, 1962 dalam Purnama 2010)

Geolistrik

Geolistrik merupakan metode pendugaan area keterdapatannya airtanah dan kedalamannya dengan prinsip perbedaan nilai tahanan jenis tiap batuan (Lowrie, 2007). Salah satu metode geolistrik yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan metode ERT (*Electrical Resistivity Tomography*). ERT merupakan metode yang digunakan untuk menduga jenis dan susunan material permukaan bumi berdasarkan distribusi spasial

nilai resistivitasnya (Lowrie, 2007) ERT disebut juga dengan *Sub Surface Imaging* (Telford et al, 2004) atau *Resitivity Profiling* (Milsom, 2003).

Menurut Sheriff (2002) *tomography* merupakan sebuah metode untuk mencari sifat distribusi, kecepatan dan pantulan dari serangkaian observasi berulang-ulang yang menggunakan suatu penerima dan sumber, sedangkan berdasarkan *Encyclopedic Dictionary of Applied Geophysics*, tomografi merupakan penentuan distribusi resistivitas menggunakan pemancar dari satu tempat ke tempat lainnya. ERT merupakan teknik untuk pencitraan struktur bawah permukaan menggunakan arus konduksi listrik (Daily dan Ramirez, 2000). ERT diusulkan 22 tahun yang lalu independen oleh Henderson dan Webster (1978) sebagai modalitas pencitraan medis dan oleh Lytle dan Dines (1978) sebagai alat pencitraan geofisika. Metode ERT berbeda dengan metode VES (*Vertical Electrical Sounding*).

Dalam geolistrik, terdapat berbagai macam konfigurasi susunan elektroda yang sering disebut dengan *geometric factor*. Konfigurasi susunan elektroda tersebut adalah *Wenner alpha*, *Wenner Beta*, *Dipole-Dipole*, dan *Wenner Schlumberger*. Salah satu konfigurasi susunan elektroda yang sering digunakan adalah konfigurasi *Wenner Schlumberger* karena dianggap paling baik tingkat keakuratannya.

Sistem Informasi Geografis untuk Penyelidikan Airtanah

Ulasan yang sangat baik terkait dengan teknik penginderaan jauh dalam penyelidikan airtanah dilakukan oleh Engman dan Gurney (1991), Bobba, et al. (1992), Meijerink (2000), dan Rai, et al. (2005). Dalam beberapa tahun terakhir, seiring membaiknya Sistem Informasi Geografis (SIG) menjadi lebih modern dengan berbagai fasilitasnya, maka pemetaan zonasi potensi airtanah menjadi lebih mudah dan lebih cepat. Beberapa studi kasus dengan mengintegrasikan penginderaan jauh dan teknologi SIG untuk menentukan zonasi potensi airtanah telah dilakukan oleh Shahid dan Nath (2002), Rose dan Krishnan (2009), Nagarajan dan Singh (2009), Yeh, et al. (2009), dan Preeja, et al. (2010). Studi-studi ini menggambarkan zonasi potensial airtanah di suatu wilayah dikontrol oleh faktor-faktor yang berpengaruh terhadap prospek airtanah, seperti kondisi tanah, kemiringan lereng, penggunaan lahan, litologi, dan topografi, dll.

Metode overlay indeks tertimbang (*weighted indeks overlay method*) diaplikasikan untuk menentukan zonasi potensi tanah. Metode ini sangat sederhana dan memfasilitasi analisis dari kombinasi peta multi-kelas. Efektivitas metode ini tergantung pada penilaian si pelaku yang dapat dimasukkan dalam analisis. Metode ini mempertimbangkan

pentingnya bobot dan kelas parameter-parameter yang digunakan, sehingga tidak ada skala standar. Untuk melakukan hal ini, kriteria untuk analisis harus didefinisikan, dan setiap parameter harus diberi bobot tertentu, tergantung dari seberapa apa parameter ini mempengaruhi potensi airtanah (Saraf dan Choudhury, 1998). Atau dengan kata lain, menurut Preeja, et al. (2010), bobot dari masing-masing individu parameter dan nilai parameter diprioritaskan secara berbeda berdasarkan pengaruh mereka pada kondisi airtanah.

BAB II. CARA PENELITIAN

2.1. Alat dan bahan

Alat utama dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat lapangan dan alat perangkat sistem komputer untuk modelling dan identifikasi bentuklahan.

Perangkat untuk modelling dan identifikasi bentuklahan meliputi :

1. Perangkat Keras (CPU, komputer, printer, monitor)
2. Stereoskop Cermin
3. Alat untuk survey lapangan meliputi :
4. Kompas dan palu geologi untuk identifikasi mineral akuifer
5. GPS, untuk mengetahui posisi di lapangan
6. Perangkat survey geolistrik, untuk mendapatkan data tahanan jenis perlapisan batuan.
7. pH meter, EC meter, dll, untuk identifikasi awal kualitas air
8. Kamera
9. Meteran

Bahan utama yang digunakan adalah :

1. Peta topografi dan Rupabumi skala 1:25.000 dan 1:50.000
2. Foto udara pankromatik skala 1:30.000
3. Citra digital Landsat ETM+
4. Peta Geologi Skala 1:100.000

2.2. Tahapan Penelitian

Penelitian ini akan meliputi tahapan persiapan, kerja laboratorium, kerja lapangan, dan tahap penyelesaian.

Tahap persiapan meliputi :

1. Pengumpulan data sekunder
2. Pengumpulan peta topografi, citra landsat ETM dan foto udara pankromatik
3. Pengurusan ijin penelitian

Tahap kerja laboratorium meliputi :

1. Identifikasi sebaran bentuklahan dari citra, foto udara, dan peta
2. Penentuan distribusi akuifer sementara
3. Penentuan lokasi sampling dan pengukuran

Tahap kerja lapangan meliputi :

1. Cek lapangan hasil interpretasi bentuklahan

2. Pengukuran tinggi muka air sumur dan pengukuran DHL
3. Pengambilan data geolistrik,

Tahap Penyelesaian meliputi :

1. Penyusunan model akhir resistivitas dua dimensi akuifer penyimpan airtanah
2. Melakukan zonasi potensi airtanah
3. Penulisan laporan
4. Presentasi hasil dan perbaikan

2.3. Analisis

Analisis penentuan tebal akuifer

Analisis data resistivitas perlapisan batuan dilakukan dengan bantuan software IP2Win versi 3.0.1a. (Moscow State University, 2001). Data pada masing-masing titik diinterpretasi dengan membuat kurva hasil persinggungan garis-garis asymtot yang mewakili variasi vertikal resistivity batuan, seperti yang disajikan pada Gambar 2.1. Selanjutnya, IP2 Win juga dapat secara langsung mengelaskan nilai resistivitas atas dasar materi yang dilalui oleh listrik yang dihantarkan batuan dan diinterpretasikan oleh alat geolistrik (Santosa dan Adji, 2006)

Gambar 2.1. Interpretasi perlapisan batuan vertikal oleh IP2Win

Selanjutnya, untuk menganalisis sebaran resistivitas secara keruangan, perlu ditentukan cross section nilai resistivitas dengan cara membuat lintasan 2 dimensi seperti yang disajikan pada Gambar 2.2.

Gambar 2.2. Lintasan 2 dimensi nilai resistivitas batuan

Setelah diperoleh lintasan-lintasan dari beberapa titik pengukuran, maka untuk mengetahui lapisan penyimpan airtanah, haruslah dibuat kriteria nilai resistivitas berapa yang mampu menyimpan airtanah seperti disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Nilai Tahanan Jenis Hubungannya Dengan Kondisi Airtanah

No	Tahanan jenis (Ωm)	Kondisi Airtanah	Material	Bentuklahan
1	600 - 2000	kering	pasir pantai	marine
2	150 - 600	jenuh airtanah	pasir pantai	marine
3	10 - 150	jenuh airtanah	aluvium	dataran aluvial
4	2 - 10	payau	pasir sangat halus + lempung	fluvio marine
5	5 - 10	tawar - payau	gamping napalan	lereng perbukitan
6	10 - 25	tawar	bereksi andesit tua	perbukitan

Sumber : Loke (1999), Zohdy (1989), Acworth (2001) dengan modifikasi

Analisis Zonasi Potensi Airtanah

Potensi airtanah bebas merupakan gambaran mengenai kondisi airtanah yang berpotensi untuk dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari, baik kebutuhan domestik, industri, kebutuhan pertanian, dan sebagainya. Potensi airtanah ini dapat dikaji dari segi kualitas maupun kuantitasnya. Seberapa besar potensi airtanah dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya kondisi akuifer yang meliputi keberadaan, persebaran, dan tebal akuifer yang berpotensi untuk diturap airtanahnya yang mana data tersebut diperoleh berdasarkan pendugaan geolistrik; kemudian kedalaman muka airtanah yang diketahui dari hasil survei pada sumur gali penduduk, fluktuasi airtanah bebas yang diperoleh dari hasil pengamatan lapangan dengan didukung data hasil wawancara dengan penduduk setempat, kualitas airtanah yang dilakukan dengan pendekatan nilai DHL atau Daya Hantar Listrik, dan tingkat penurapannya. Oleh karena itu, zonasi potensi airtanah bebas pada daerah penelitian dilakukan dengan pertimbangan faktor-faktor tersebut.

Secara tidak langsung, penggunaan Sistem Informasi Geografis (SIG) dan *Remote Sensing* (RS) dapat digunakan untuk membuat Peta Zonasi Potensi Airtanah pada suatu wilayah dengan menggunakan beberapa pendekatan faktor-faktor penentu potensi airtanah, dan di daerah penelitian adalah seperti yang disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Parameter Penyusun Potensi Airtanah di Daerah Penelitian

No	Parameter lapangan	Bobot (%)	Kelas	Category	Skor
1.	Kedalaman Muka Airtanah (m)	30	0 - 2	dangkal	10
			2 - 6	sedang	8
			> 6	dalam	5
2.	Tebal Akuifer (m)	30	0 - 30	tebal	3
			30 - 60	sedang	8
			> 60	tinggi	10
3.	Daya Hantar Listrik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	20	0 - 250	tawar	10
			250 - 500	sedang	6
			> 500	tercemar	2

Faktor-faktor penentu tersebut antara lain adalah kondisi iklim, topografi, geologi, geomorfologi, vegetasi, dan penggunaan lahan. Metode yang biasa digunakan atau dipakai dikenal dengan nama *Weighted Index Overlay Model for Groundwater Prospects* atau model yang dibuat dengan melakukan overlay atau tumpang susun peta pada faktor-faktor berpengaruh yang diberi bobot tertentu. Dalam penelitian ini pembuatan Peta Zonasi Potensi Airtanah (Gambar 3) dibuat dengan menggunakan pendekatan faktor pembobot berupa Peta Kedalaman Muka Airtanah (TMA), Peta Daya Hantar Listrik, Peta Fluktuasi Muka Airtanah dan Peta Ketebalan Akuifer Berpotensi Tinggi di daerah penelitian. Pendekatan faktor pembobot yang digunakan sebagai parameter penyusun Peta Zonasi Potensi Airtanah di daerah penelitian disajikan dalam Tabel 2.2. Berdasarkan pendekatan faktor pembobot tersebut diperoleh integrasi faktor pembobot dengan potensi airtanah rendah hingga tinggi dan disajikan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Integritasi Faktor Pembobot Potensi Airtanah di Daerah Penelitian

No	Potensi Airtanah	Nilai Pembobot
1	Potensi Airtanah Rendah	< 6
2	Potensi Airtanah Sedang	6 - 8
3	Potensi Airtanah Tinggi	> 8

BAB III. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

3.1. Kondisi singkat daerah penelitian

Daerah penelitian merupakan bagian dari Kabupaten Bantul, yang terletak antara Sungai Opak di sebelah utara dan barat dan Samudera Hindia di sebelah selatan. Secara astronomis, daerah penelitian terletak antara 9117011-9112518 mU dan 420472 - 427274 mT. Elevasi bervariasi dari 0.5 m di atas permukaan laut (dpl) di selatan untuk sekitar 10 dpl utara. Curah hujan tahunan rata-rata adalah 1.811 mm, dan peningkatan curah hujan terjadi dari Januari-Februari. Suhu rata-rata tahunan adalah antara 26 - 27 ° C.

Menurut Bemmelen (1970), litologi utama di daerah ini di daerah penelitian terdiri dari: (1) Aluvium (Qa) yang berisi kerakal, pasir, lanau dan lempung sepanjang Sungai Opak dan dataran pantai. Material aluvium ini berdampingan dengan aluvium rombakan bahan vulkanik yang dalam peta dinyatakan dalam Qmi; (2) Endapan Gunungapi Merapi Muda (Qmi) yang berisi tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. Hasil pelapukan membentuk lereng bagian bawah dan dataran yang meluas di sebelah selatan, terutama terdiri dari endapan aluvium rombakan vulkanik; dan (3) Formasi Ngelanggeran (Tmn), yang terdiri dari breksi vulkanik, breksi aliran, aglomerat, lava dan tuf. Jenis batuan ini hanya dijumpai sedikit di daerah penelitian. Berdasarkan bentang alam di daerah penelitian, terdapat 4 bentuklahan yaitu: Beting Gisik (*Beach Ridges*), Pantai (*Beach*), Gumuk Pasir (*Sand Dunes*), Dataran Aluvial (*Alluvial Plain*), dan Dataran Banjir (*Flood Plain*) seperti yang disajikan pada Gambar 3.1. Ada pun bentuklahan *Horst* dan *Foot Slope* tidak dikaji pada penelitian ini.

3.2. Kedalaman muka airtanah

Pengukuran parameter kedalaman muka airtanah dilakukan pada 90 sumur gali (Tabel 3.1.) dari Tabel 3.1. tersebut, tampak bahwa kedalaman muka airtanah di daerah penelitian bervariasi antara 0,2 - 9,5 meter. Variasi tersebut kemudian diklasifikasikan menjadi tiga kelas, yaitu: (1) dangkal (0 - 2 meter), (2) sedang (2- 4 m), dan (3) dalam (> 4 meter). Distribusi spasial kedalaman muka airtanah di daerah penelitian disajikan pada Gambar 3.2.

Gambar 3.1. Bentuklahan di daerah penelitian

Tabel 3.1. Data Kedalaman Muka Airtanah dan DHL di Daerah Penelitian

No	Koordinat X	Koordinat Y	Elevasi (m dpal)	TMA (m)	DHL (mikro mhos/cm)
1	426795	9113060	6,29	3,71	394
2	426759	9112940	7,38	7,20	444
3	426748	9112799	4,42	3,20	615
4	426560	9113125	10,05	8,81	529
5	426472	9112972	8,48	5,98	448
6	426326	9112993	6,25	2,67	544
7	426383	9113158	6,25	1,73	470
8	426089	9113308	7,37	5,24	4790
9	425966	9113067	9	1,88	365
10	425631	9113166	2,74	0,95	433
11	425544	9113223	3,38	1,13	351
12	425818	9113500	12,21	7,44	440
13	425007	9114221	10,07	6,81	410
14	424899	9114300	7,57	5,10	846
15	424704	9114342	9,44	7,22	372
16	423594	9114494	6,6	0,33	275
17	423297	9114460	6,25	2,93	378
18	423383	9114659	6,25	0,25	520
19	422903	9114606	6,25	0,03	1570
20	422545	9114569	6,25	1,97	281

21	425890	9113637	12,5	9,78	593
22	425715	9113650	10,73	7,30	520
23	425736	9113468	6,25	3,15	457
24	425399	9113341	4,55	3,27	367
25	425347	9113493	6,25	3,45	440
26	425343	9113517	6,25	2,9	356
27	425129	9113554	6,25	4,25	298
28	424700	9113626	6,25	3,53	165
29	424468	9113655	6,25	4,25	288
30	423789	9113710	4,26	1,09	445
31	423746	9113760	4,76	0,14	422
32	422932	9113965	3,93	0,28	225
33	422788	9114108	5,73	2,38	517
34	422386	9114098	2,39	1,33	254
35	421942	9114221	2,99	0,81	834
36	421868	9114215	2,67	1,58	250
37	422008	9114147	2,24	1,76	818
38	422153	9114231	3,26	0,84	284
39	422445	9114631	6,25	1,80	518
40	422520	9114804	6,31	0,81	382
41	422742	9114972	6,25	2,05	453
42	422905	9115057	6,25	1,15	517
43	423478	9114840	6,25	2,95	521
44	423478	9114840	6,25	2,95	459
45	423056	9115075	6,25	2,65	560
46	423090	9115424	6,25	1,43	722
47	423177	9115503	6,25	1,65	738
48	423412	9115658	6,25	1,85	576
49	423671	9115900	6,25	1,77	552
50	423861	9116149	6,25	1,71	535
51	425530	9113733	16,8	11,26	358
52	425260	9113958	12,5	7,05	251
53	425052	9114310	7,18	4,38	719
54	425022	9114283	6,46	4,30	628
55	425000	9114282	6,64	4,14	516
56	425160	9114478	9,38	7,58	450
57	424875	9114444	6,25	4,15	570
58	424898	9114486	6,25	4,05	570
59	424773	9114823	6,25	5,05	404
60	424883	9114937	9,35	6,35	508
61	424663	9115208	7,96	2,80	523
62	424847	9115004	10,28	7,48	556
63	424552	9115755	11,7	3,25	638

64	424782	9114341	7,59	4,97	397
65	424646	9114408	7,45	3,99	208
66	424554	9114498	6,25	5,30	395
67	424463	9114512	6,25	5,33	368
68	423364	9115155	6,25	1,41	730
69	423441	9115164	6,25	3,15	791
70	424232	9115323	6,25	4,09	660
71	423877	9115603	6,25	1,55	912
72	424073	9115677	6,25	0,75	800
73	424180	9115940	6,25	0,35	598
74	424197	9116108	6,25	0,65	531
75	423906	9116211	6,25	0,25	556
76	424282	9116465	6,53	0,57	605
77	424577	9116554	8,98	3,46	652
78	422131	9114100	3,78	0,22	1178
79	422147	9114142	4,21	0,25	842
80	421946	9114156	3,98	0,68	2723
81	424400	9113664	6,15	3,17	476
82	425179	9113642	5,25	1,84	405
83	425259	9113764	4,82	2,11	357
84	425469	9113268	3,82	0,22	798
85	426633	9112846	4,25	2,25	1390
86	425060	9114234	6,98	1,86	602
87	424956	9114288	7,61	3,09	549
88	422906	9114644	7,87	0,54	717
89	422897	9114744	7,98	0,78	547
90	422827	9114632	7,34	0,34	290

Sumber: Pengukuran lapangan (2014)

Secara umum, sebagian besar penelitian mempunyai kedalaman airtanah yang sedang (2 - 4 m) yang menempati luasan sekitar 51,4% dari total luas daerah penelitian, yang sebagian besar menempati bentuklahan Beting Gisik (26,6%) dan Dataran Alluvial (15,5%). Sementara itu, daerah dengan kedalaman muka airtanah kurang dari 2 meter hanya menempati luasan kurang dari 5% dari total wilayah kajian.

Gambar 3.2. Distribusi kedalaman muka airtanah di daerah penelitian

3.3. Ketebalan Akuifer

Sebelum dijabarkan ketebalan akuifernya, ada baiknya kita uraikan dulu hidrostratigrafi akuifer di daerah penelitian. Hidrostratigrafi akuifer mencakup kajian mengenai kondisi akuifer secara vertikal, dimana dengan mengetahui hidrostratigrafi maka akan dapat diketahui karakteristik akuifer, termasuk kondisi airtanah yang ada didalamnya. Didalam melakukan investigasi ini, digunakan metode *Electrical Resistivity Tomography* (ERT). Metode ini menekankan pada nilai hambatan (ρ) untuk dapat menentukan material atau kondisi apa yang ada dibawah permukaan. Data yang digunakan merupakan data sebaran nilai *resistivity* secara vertikal pada setiap titik pengamatan, selanjutnya untuk dapat mengetahui kondisi hidrostratigrafi secara wilayah, maka digunakan metode *cross-section*.

a. *Cross-section G10-G11-G12*

Gambar 3.3. Model *Cross-section* Jalur G10-G11-G12

Jalur pengamatan G10-G11-G12 (Gambar 3.3) terbentang sejauh 1393 meter dari arah utara-selatan. Lapisan teratas dari model stratigrafi adalah endapan pasir halus kering dan endapan aluvium dimana terdapat hingga kedalaman 5 meter dari permukaan tanah. Material berikutnya adalah pasir halus yang jenuh akan airtanah tawar, dengan kedalaman bervariasi dari 3- 10 meter dari permukaan tanah. Tebal material endapan pasir jenuh airtanah pada bentuklahan gumuk pasir lebih lebal daripada di bentuklahan dataran banjir dan fluvio-marin. Wilayah dengan bentuklahan dataran banjir dan fluvio marin lebeih didominasi oleh material endapan lempung jenuh airtanah yang terdapat pada kedalaman sekitar 2-3 meter dari permukaan tanah. terdapat indikasi adanya intrusi airlaut di titik G10 dengan kedalaman 20 meter, hal ini ditandai dengan adanya nilai resistivity yang relatif rendah yaitu $< 1 \Omega m$, dimana kemungkinan air bersifat payau. Di kedalaman 20 meter pada bentuklahan dataran banjir dan fluvio-marin terdapat material dengan nilai *resistivity* $> 2000 \Omega m$, hal ini mengindikasikan adanya batuan yang tidak mengandung airtanah. Kemungkinan material tersebut bersifat impermeabel atau massif sehingga tidak terdapat pori-pori untuk dapat menyimpan air.

b. *Cross-section G6-G7-G8*

Gambar 3.4. Model *Cross-section* Jalur G6-G7-G8

Jalur pengamatan G6-G7-G8 (Gambar 3.4.) terbentang sejauh 1888 meter dari arah utara-selatan. Jalur ini melintasi dua bentuklahan yaitu bentuklahan dataran banjir dan dataran fluvio marin di sebelah utara, dan gumuk pasir di sebelah selatan. Hasil model hidrostratigrafi menunjukkan adanya simpanan airtanah tawar pada kedalaman 2-4 meter dari permukaan tanah. simpanah airtanah terebut berada pada material pasir halus. Di posisi yang lebih dalam terdapat pula akumulasi airtanah tawar yang terdapat pada material lempung mulai dari kedalaman 10 hingga 20 meter dari permukaan tanah. berada di posisi paling bawah, terdapat material batu pasir yang tidak jenuh airtanah. Material ini terdapat cukup luas, dari bentuklahan gumuk pasir hingga dataran banjir dan dataran fluvio-marin.

c. *Cross-section G2-3-4*

Berada di posisi yang paling barat, yaitu jalur pengamatan G2-G3- G4 (Gambar 3.5.) yang membentang sejauh 1308 meter dari arah utara-selatan. Jalur ini melintasi bentuklahan beting gisik dan dataran banjir dan fluvio-marin. Hasil interpretasi pada model hidrostratigrafi menunjukkan adanya simpanan airtanah tawar yang cukup besar yang terdapat dekat dengan titik G4. Simpanan airtanah tawar ini terdapat dari kedalaman 3 – 60 meter di bawah permukaan tanah dan terdapat pada material pasir halus.

Sementara itu di bawah lapisan pasir halus jenuh airtanah terdapat material lempung yang juga jenuh akan airtanah.

Gambar 3.5. Model *Cross-section* Jalur G2-G3-G4

Pola tebal airtanah dari titik G4 menuju titik G2 mengalami penurunan, dimana dari titik G4 berangsur-angsur menipis hingga pada titik G2 yang hanya memiliki ketebalan sekitar 4 meter. Dekat dengan titik G2 terdapat indikasi adanya intrusi air laut dimana ditandai dengan nilai resistivity yang cukup rendah ($\rho < 1 \Omega m$). Kondisi ini kemungkinan disebabkan oleh adanya aktivitas manusia dalam menurap airtanah yang kemudian berdampak pada pergerakan zona *interface* menuju ke arah daratan.

Berdasarkan hasil pemodelan hidrostratigrafi pada jalur G10-G11-G12, G6-G7-G8 dan GG2-G3-G4 dapat disimpulkan bahwa material penyusun akuifer di kawasan pesisir Parangtritis didominasi oleh pasir halus dan lempung. kondisi ini sesuai dengan tipologi pesisir Parangtritis yang termasuk kedalam jenis *marine depositional coast* sehingga material pasir merupakan material yang umum dijumpai. Eksistensi material lempung berasal dari aktivitas fluvial Sungai Opak yang bermuara di sebelah barat Pantai Depok. Dari ketiga jalur pengamatan dapat ditemukan adanya material lempung yang berada di bawah material pasir, eksistensi lempung ini berfungsi sebagai penampung airtanah dan mencegah airtanah untuk lolos lebih jauh kedalam tanah. kondisi ini dapat dianalogikan

bahwa bentuk akuifer di pesisir Parangtritis ini memiliki bentuk seperti sebuah mangkok terbuka, dimana material lempung berfungsi sebagai penampung atau lapisan impermeabel. Hidrostratigrafi akuifer menunjukkan bahwa bentuk akuifer di kawasan pesisir Parangtritis ini berbentuk seperti sebuah mangkuk yang terbuka, dengan demikian maka polutan yang masuk kedalam sistem akuifer akan terus terjebak didalamnya karena tidak adanya aliran airtanah ke tempat lain.

Distribusi spasial ketebalan akuifer di daerah penelitian yang diwakili dengan 16 titik pendugaan geolistrik dengan metode VES, dan kemudian dibuat cross section-nya, selanjutnya dibagi menjadi 3 kelas ketebalan yaitu: (1) tipis (0 - 30 meter), (2) sedang (30-60 m), dan (3) tebal (604 meter). Distribusi spasial ketebalan akuifer di daerah penelitian disajikan pada Gambar 3.6.

Gambar 3.6. Distribusi ketebalan akuifer di daerah penelitian

Secara umum, sebagian besar daerah penelitian memiliki akuifer tipis (0- 30 meter), yang menempati luasan sekitar sekitar 57% dari seluruh daerah penelitian, yang mayoritasnya terletak pada satuan bentuklahan Beting Gisik (26,6%) dan Dataran Alluvial (22,1%). Akuifer dengan ketebalan tinggi hanya menempati luasan sekitar 10% dari total wilayah kajian.

3.4. Daya Hantar Listrik – DHL (parameter kualitas air)

Berdasarkan pengukuran dari 90 sumur gali, nilai DHL di daerah penelitian bervariasi antara 165 dan 4790 $\mu\text{mhos/cm}$. Nilai DHL kemudian diklasifikasikan menjadi tiga kelas, yaitu. (1) tawar (0 - 500 mikrodetik / cm), (2) sedang (500-1000 $\mu\text{mhos/cm}$), dan (3) tercemar (> 1000 $\mu\text{mhos/cm}$). Distribusi spasial kondisi DHL kemudian disajikan pada Gambar 3.7.

Gambar 3.7. Distribusi DHL di daerah penelitian

Berdasarkan Gambar 4, tampak bahwa wilayah studi didominasi oleh wilayah dengan kelas DHL tercemar (>1000 $\mu\text{mhos/cm}$), yang meliputi cakupan luasan sekitar 54,7% yang sebagian besar terletak di bentuklahan Dataran Alluvial. Sementara itu airtanah yang tawar umumnya terletak di bentuklahan Beting Gisik di sebelah selatan Dataran Aluvial yang menempati luasan sekitar 27,5% dari total wilayah kajian.

3.5. Zonasi potensi airtanah

Peta akhir yang merupakan zonasi terpadu dari 3 peta tematik parameter airtanah disajikan pada Gambar 3.8. yang merupakan visualisasi dari skor total hasil overlay yang mempunyai variasi nilai antara 4,4 – 10,0, yang diklasifikasikan ke dalam tiga zona untuk mewakili potensi airtanah secara spaial. Klasifikasi potensi airtanah dikatetegorikan sebagai berikut: Potensi baik (skor > 8,0), potensi sedang (skor 6,0-8,0), dan potensi miskin airtanah (skor <6.0). Kelas potensi airtanah baik berasal dari kombinasi skor tinggi pada 3 parameter lapangan (kedalaman muka airtanah dangkal, akuifer yang tebal, dan DHL yang rendah), dan jika paramaternya menunjukkan nilai berkebalikan maka potensi airtanahnya dikategorikan sebagai miskin. Sebenarnya tidak ada klasifikasi potensi tertentu yang mengategorikan airtanah pada kondisi sedang atau miskin, sebagaimana yang diungkapkan oleh Saraf dan Choudhury (1997) dan Preeja et al. (2010). Klasifikasi kelas potensi ini lebih tergantung pada keahlian dan pengetahuan peneliti pada wilayah kajian.

Dari seluruh luasan wilayah kajian yang diteliti, mayoritas potensi airtanah tergolong pada kelas baik (49,8%) dan sedang (48,7%). Sementara itu, kelas miskin airtanah hanya menempati luasan yang sangat kecil, yaitu hanya 1,5% dari total luas wilayah kajian. Potensi airtanah tersebut juga disajikan sebarannya pada satuan bentuklahan di daerah penelitian sebagaimana yang disajikan pada Tabel 3.2. dan Tabel 3.3.

Gambar 3.8. Zonasi potensi airtanah daerah penelitian

Tabel 3.2. Prediksi Potensi Zonasi Airtanah di Daerah Penelitian

No	Kelas potensi	Bentuklahan	Luas (%)
1	Baik	Dataran aluvial	11.0
		Pantai	3.1
		Beting Gisik	30.4
		Dataran Banjir	0.3
		Gumuk Pasir	5.0
Subtotal baik			49.8
2	Moderat	Dataran aluvial	34.0
		Pantai	1.0
		Beting Gisik	12.6
		Dataran Banjir	0.2
		Gumuk Pasir	0.9
Subtotal moderat			48.7
3	Miskin	Dataran aluvial	0.0
		Pantai	0.0
		Beting Gisik	1.5
		Dataran Banjir	0.0
		Gumuk Pasir	0.0
Subtotal miskin			1.5
Jumlah			100.0

Tabel 2 menunjukkan bahwa daerah yang berpotensi airtanah baik menempati luasan sebesar 49,8%. Luasan ini tidak terpaut jauh dibanding persentase luasan zona potensi airtanah sedang (48,7%). Satuan bentuklahan Beting Gisik mendominasi zona potensi airtanah baik (30,4%), sedangkan zona potensi airtanah sedang mayoritasnya dijumpai pada Dataran Aluvial (34,0%). Selanjutnya, jika ditinjau sebarannya menurut satuan bentuklahannya, maka sebagian besar Dataran Aluvial termasuk pada zone dengan airtanah sedang (34%) dan hanya 11% yang masuk ke dalam zona potensi airtanah baik. Faktor penghambat utama bentuklahan Dataran Aluvial ini masuk pada zone potensi airtanah baik adalah nilai DHL yang tinggi yang disebabkan materialnya yang sangat halus sehingga kesempatan kontak antara air dan batuan menjadi lama yang meningkatkan nilai DHL dalam air. Selanjutnya, daerah yang berpotensi airtanah sedang mayoritasnya menempati bentuklahan Dataran Aluvial (34%) yang kemudian disusul oleh Beting Gisik (12,6%).

Tabel 3.3. Prediksi Potensi Zonasi Airtanah Sesuai Dengan Unit Bentuklahan di Daerah Penelitian

No	Bentuklahan	Luas per Kelas potensi (%)			Luas (%)
		Baik	Sedang	Miskin	
1	Dataran aluvial	11.0	34.0	0.0	45.0
2	Pantai	3.1	1.0	0.0	4.1
3	Beting Gisik	30.4	12.6	1.5	44.5
4	Dataran Banjir	0.3	0.2	0.0	0.5
5	Gumuk Pasir	5.0	0.9	0.0	5.9
Jumlah					100.0

BAB IV. KESIMPULAN

Jika dilihat per satuan bentuklahan, Dataran Aluvial yang menempati 45% dari total luasan daerah penelitian, mayoritasnya mempunyai potensi airtanah sedang (34%) dan potensi baik (11%) dan tidak mempunyai daerah yang miskin airtanahnya. Bentuklahan Pantai (Beach) sebagian besar masuk pada kelas potensi airtanah baik (3,1%) dan sedang (1%) dan juga tidak memiliki daerah yang miskin airtanahnya. Sementara itu, bentuklahan Beting Gisik mempunyai persentase yang tinggi potensi airtanah baiknya yaitu sebesar (30,4%), yang disusul dengan potensi sedang (12,6%) dan miskin (1,5%). Pada Dataran Banjir dan Gumuk Pasir, potensi airtanah yang dominan adalah baik (0,3% dan 5%), dan pada kedua bentuklahan ini tidak dijumpai kelas miskin airtanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Adji, T.N., 2003, Studi Pemodelan Recharge Airtanah Tahunan Kotamadya Yogyakarta, Lembaga Penelitian UGM
- Adji, T.N., 2007, Application of Water Table Fluctuation Method to Quantify Spatial Groundwater Recharge Within the Southern Slope of Merapi Volcano, Indonesia, *Indonesian Journal of Geography*, Vol. 39:2
- Adji, T.N., Noordianto, M.H. 2006. A Discussion of Groundwater Deterioration by Means of Its Recharge Within The Southern Part of Merapi Volcano, *Proceeding of International Interdisciplinary Conference-Volcano International Gathering*, 2006, 4-10 Sept 2006 ISSN 979-8918-53-3
- Adji, T.N., Sejati, S.P., 2014, Identification of Groundwater Potential Zones Within an Area with Various Geomorphological Unit by Using Several Field Parameters and GIS Approach in Kulon Progo Regency, Java, Indonesia, *Arabian Journal of Geoscience*, Vol 1 (7), p.161-172
- Appelo, C.A.J., Postma, D., 1994. *Geochemistry, groundwater and pollution*. A.A. Balkema, Rotterdam, 536p.
- Bemmelen, R.W. van, 1970. *The Geology of Indonesia*. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes. Government Printing Office. The Hague
- Bobba, A. G., Bukata, R. P., Jerome, J. H., 1992. Digitally processed satellite data as a tool in detecting potential groundwater flow systems, *Journal of Hydrology*, 131(1– 4), 25–62.
- Edet, A.E., Okereke, C.S., 1997. Assessment of hydrogeological conditions in basement aquifers of the Precambrian Oban massif, southeastern Nigeria, *Journal of Applied Geophysics*, 36, 195-204.
- Engman, E. T., Gurney, R. J., 1991. *Remote Sensing in Hydrology*. London: Chapman and Hall.
- Meijerink, A.M.J., 2000, *Groundwater*. In G. A. Schultz & E.T. Engman (Eds.), *Remote sensing in hydrology and water management* (pp. 305–325). Berlin: Springer.
- Moscow State University, 2001. IP2WIN Version 2.1., IP_Res2, IP_Res3, *User's Guide*, Moscow
- Nagarajan, M., Singh, S., 2009. Assessment of groundwater potential zones using GIS technique, *Journal Indian Society of Remote Sensing*, 37:69–77
- Prashasti , A., Maneesh, S., Shakti, S., Dheer, S., 2011. Landform analysis and classification with GIS and Remote Sensing- a micro level study, *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, Volume 04: pp 330-333, ISSN 0974-5904

- Preeja, K. R., Joseph, S., Thomas, J., Vijith, H., 2010. Identification of Groundwater Potential Zones of a tropical river basin (Kerala, India) using remote sensing and GIS techniques, *Journal Indian Society of Remote Sensing*, DOI 10.1007/s12524-011-0075-5
- Rai, B., Tiwari, A., Dubey, V.S., 2005. Identification of groundwater prospective zones by using remote sensing and geoelectrical methods in Jharia and Raniganj coalfields, Dhanbad district, Jharkhand state, *Journal of Earth System Science*, 114, No. 5,
- Rao, D.P., 2002. Remote sensing application in geomorphology, *Tropical Ecology* 43(1): pp 49-59, ISSN 0564-3295
- Rao, V.B., Briz-Kishore, B.H., 1991. A methodology for locating potential aquifers in a typical semi-arid region in India using resistivity and hydrogeologic parameters, *Geoexploration*, 27, 55-64.
- Rose-Suja, R.S., Krishnan, N., 2009. Spatial analysis of groundwater potential using remote sensing and GIS in the Kanyakumari and Nambiyar Basins, India, *Journal Indian Society of Remote Sensing*, 37:681-692
- Santosa, L.W., Adj, T.N., 2014, Karakteristik Akuifer dan Potensi Airtanah Graben Bantul, Gadjah Mada University Press, 299 p., Jogjakarta
- Santosa, L.W., Adj, T.N., 2006, Pendugaan Geolistrik Untuk Identifikasi Keterdapatan Airtanah di Perkebunan Kelapa Sawit Muarakandis Kabupaten Musirawas Provinsi Sumatera Selatan, *Majalah Geografi Indonesia*, Vol. 20:2
- Saraf, A. K. and Choudhury, P. R., 1997. Integrated Application of Remote Sensing and GIS Groundwater exploration in hard rock terrain, *Proceedings. Int. Symp. on Emerging trends in Hydrology*, Department of Hydrology, Roorkee, September 25-27, 1997, Vol. I, 435-442.
- Saraf, A. K., Choudhury, P. R., 1998. Integrated remote sensing and GIS for groundwater exploration and identification of artificial recharge sites, *International Journal of Remote Sensing*. 19(10), 1825-1841.
- Scaramuzza, P., Micijevic, E. And Chander, G., 2004, SLC gap-filled products: Phase one methodology. Available online at: http://landsat.usgs.gov/data_products/slc_off_data_products/documents/SLC_Gap_Fill_Methodology.pdf
- Sejati, S.P., Adj, T.N., 2013, Kajian Potensi Airtanah Di Lereng Selatan Gunungapi Merapi untuk Mencukupi Kebutuhan Air Domestik pada Hunian Sementara, UGM
- Shahid, S., Nath, S.K., 2002. GIS integration of remote sensing and electrical sounding data for hydrogeological exploration, *Journal of Spatial Hydrology*, Vol.2 No.1
- Yeh, H.S., Lee, C.H., Hsu, K.C., Chang, P.H., 2009. GIS for the assessment of the groundwater recharge potential zone, *Environmental Geology*, 58:185–195