Identifikasi Potensi Airtanah pada Area dengan Beragam Bentuklahan Menggunakan Beberapa Parameter Lapangan dan Pendekatan SIG di Kawasan Parangtritis, DIY

Tjahyo Nugroho Adji, Dhoni Wicaksono,
Emilya Nurjani

Prodi Penginderaan Jauh dan SIG, Sekolah
Vokasi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

email: adji@geo.ugm.ac.id ; sekti.tanpo.aji@gmail.com
; n_emilya@geo.ugm.ac.id

Intisari

Sebuah studi kasus telah dilakukan untuk membuat zona potensi airtanah di daerah sekitar Pantai Parangtritis, Provinsi DIY. Tujuan dari penelitian adalah untuk 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

I. PENDAHULUAN

Airtanah bersifat dinamis dan dipengaruhi oleh sejumlah faktor alam (Adji dan Noordianto, 2006). Geologi dan geomorfologi sangat mendikte prospek airtanah di suatu daerah. Struktur geologi dapat pula mempengaruhi arah aliran airtanah, serta jenis dan ketebalan akuifer (Santosa dan Adji, 2014). Stratigrafi pada perlapisan batuan dapat pula mengontrol jenis, kedalaman, dan ketebalan akuifer (Sejati dan Adji, 2013). Jenis mineral yang dikandung batuan juga mempengaruhi permeabilitas akuifer dan konsentrasi ion terlarut. Di sisi lain, morfologi relief permukaan bumi akan memicu pergerakan dan arah gerakan airtanah. Perubahan topografi permukaan mempengaruhi kedalaman dan fluktuasi muka airtanah. Sementara itu, morfogenesis pasti mengontrol permeabilitas, porositas, dan laju infiltrasi (Adji, 2003). Karena adanya hubungan yang kuat antara kondisi geologi-geomorfologi dan sifat airtanah, maka kondisi geologi dan geomorfologi dapat digunakan untuk menentukan distribusi sumber daya potensial airtanah di suatu wilayah.

Dengan berkembangnya teknologi penginderaan jauh, yaitu dengan kinerja georeferensi spasial yang akurat, maka faktor-faktor yang mempengaruhi prospek dan zonasi airtanah dapat lebih mudah diidentifikasi pada skala yang luas. Ulasan yang sangat baik dari teknologi penginderaan jauh untuk penyelidikan airtanah ini di antaranya adalah yang dilakukan oleh Engman dan Gurney (1991), Bobba et al. (1992), Meijerink (2000), dan Rai et al. (2005). Dalam beberapa tahun terakhir ini, seiring berkembangnya Sistem Informasi Geografis (SIG), maka pemetaan potensi airtanah telah menjadi lebih mudah dan lebih cepat. Beberapa penelitian telah berhasil mengintegrasikan teknologi penginderaan jauh dan SIG untuk menentukan zonasi potensi airtanah, seperti yang dipublikasikan oleh Shahid dan Nath (2002), Rose dan Krishnan (2009), Nagarajan dan Singh (2009), Yeh et al. (2009), dan Preeja et al. (2010). Penelitian-penelitian tersebut berhasil menggambarkan zona potensial airtanah di suatu wilayah dengan melakukan overlay pada faktor-faktor yang secara teori mengontrol prospek airtanah, seperti kondisi tanah, kemiringan lereng, penggunaan lahan, litologi, dan topografi.

Pada penelitian ini, potensi airtanah didekati dengan melakukan pemetaan beberapa parameter airtanah yang mudah diukur di lapangan. Beberapa parameter potensi airtanah tersebut adalah: (1) kedalaman muka airtanah, yang berhubungan dengan kondisi topografi; (2) ketebalan akuifer, yang erat kaitannya dengan struktur geologi dan proses geomorfologi masa lampau; dan (3) Daya Hantar Listrik (DHL), sebagai salah satu parameter kualitas air, yang berhubungan penggunaan lahan dan jenis litologi. Selanjutnya, dengan mengaplikasikan teknik SIG, maka sebaran zonasi airtanah potensial dapat didefinisikan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyajikan peta distribusi potensi airtanah yang terkontrol oleh empat faktor potensi airtanah yang dapat disurvei di lapangan dengan menggabungkan kondisi bentuk lahan di daerah penelitian.

II. KONDISI 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 Ngelangeran (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 1. Ada pun bentuklahan *Horst* dan *Foot Slope* tidak dikaji pada penelitian ini.

Gambar 1. Bentuklahan di daerah penelitian

III. DATA DAN METODOLOGI

Pembagian unit bentuklahan

Peta Rupa Bumi Indonesia skala 1: 25000 digunakan untuk penyusunan peta dasar, dan data kontur yang ada diperlukan untuk mengidentifikasi kondisi topografi. Selain itu, peta geologi regional digunakan untuk menentukan jenis batuan di daerah penelitian. Citra Digital Landsat ETM⁺ data yang telah diolah dengan software ENVI untuk menghilangkan ETM⁺ gap (Scaramuzza, et al., 2004), digunakan untuk menafsirkan batas-batas persebaran bentuklahan di daerah penelitian.

Interpretasi bentuklahan dilakukan menggunakan pendekatan landform, yang menganggap aspek aspek berikut ini (Rao, 2002; Adji and Sejati, 2014; Prashasti, et al, 2011), yaitu: (1) aspek topografi berdasarkan data kontur interval 12,5 m yang berasal dari peta RBI; (2) sistem drainase hidrologi; (3) data pendukung lain seperti data, geologi, tanah, dan iklim; dan (4) penggambaran unit bentuklahan secara manual, yang didasarkan pada interpretasi visual terhadap data digital Landsat ETM⁺ menggunakan kunci-kunci interpretasi citra, yang berupa, tekstur, pola, bentuk, dan asosiasi. Akhirnya, hasil interpretasi tersebut kemudian diverifikasi dengan checking terhadap kondisi aktual di lapangan.

Survei lapangan

Berikut ini adalah tiga parameter airtanah lapangan yang disurvei:

- Kedalaman muka airtanah.** Parameter ini termasuk yang paling signifikan sebagai penciri potensi airtanah dari sisi pemanfaatan airtanah. Airtanah dikategorikan sebagai mudah untuk dicapai atau dimanfaatkan jika kedalamannya dangkal karena tidak memerlukan peralatan khusus untuk memanfaatkannya;

- b. **Ketebalan akuifer.** Ketebalan akuifer merupakan parameter yang penting untuk penentuan prospek airtanah di suatu wilayah. Jika akuifernya tebal, maka volume penyimpanan airtanah meningkat. Pada penelitian ini, ketebalan akuifer diperkirakan menggunakan metode geolistrik yang dikenal sebagai metode *Vertical Electrical Sounding* (VES). Beberapa studi yang telah menggunakan metode ini untuk mengukur ketebalan akuifer di antaranya adalah Rao dan Briz-Kishore (1991), Edet dan Okereke (1997), dan Shahid dan Nath (2002). Dalam penelitian ini, 16 lokasi VES telah diukur menggunakan konfigurasi Schlumberger dengan jarak bentangan antara 150 dan 250 m. Lokasi dari pengukuran VES dibagi merata pada masing-masing satuan bentuklahan. Pada masing-masing lokasi VES kemudian diproses menggunakan software IP2Win (Moscow State University, 2001), yang mampu menggambarkan sebaran nilai resistivitas secara horisontal dan spasial;
- c. **Daya Hantar Listrik (DHL).** Parameter ini dapat digunakan untuk mengetahui gambaran global dari kualitas air dan ion terlarut dalam air terlarut mayor dan minor dalam airtanah. DHL merepresentasikan jumlah unsur terlarut dalam air karena nilainya berbanding lurus dengan konsentrasi anion dan kation dalam air (Appelo dan Postma, 1994). Jika DHL pada air rendah maka air bersifat tawar dan jika DHLnya tinggi maka dapat dikatakan bahwa air sudah tercemar. BW distribusi air dapat diklasifikasikan lebih baik berdasarkan pada asumsi bahwa air tawar (konduktivitas cairan) secara alami maupun tidak.

Teknik sampling parameter airtanah lapangan adalah stratified sampling berdasarkan setiap unit bentuklahan. Hasil survei lapangan kemudian dianalisis dan selanjutnya digunakan untuk mempersiapkan peta tematik untuk masing-masing parameter, yang kemudian di tumpang susun (*overlay*) untuk memperoleh zonasi potensi airtanah di daerah penelitian.

Metode indeks overlay tertimbang

Metode indeks overlay 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 sekuat apa parameter ini mempengaruhi potensi airtanah (Saraf dan Choudhury, 1998). 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 (Tabel 1).

TABEL 1. PARAMETER PENYUSUN POTENSI AIRTANAH DI DAERAH PENELITIAN

No	Parameter lapangan	Bobot (%)	Kelas	Kategori	Skor
1.	Kedalaman Muka Airtanah (m)	35	0-2	dangkal	10
			2-6	sedang	8
			> 6	dalam	5
2.	Tebal Akuifer (m)	35	0-0	tipis	3
			30-60	sedang	8
			> 60	tebal	10
3.	Daya Hantar Listrik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	30	0-500	tawar	10
			500-1000	sedang	6
			> 1000	tercemar	2

Pada metode ini, penentuan bobot dan kategori skor dari setiap kelas merupakan aspek yang paling penting pada analisis overlay ini karena output zonasi sangat tergantung ketepatan penentuan bobot dan skor pada parameter lapangan airtanah. Dalam penelitian ini, parameter lapangan airtanah (kedalaman muka airtanah, ketebalan akuifer dan DHL) di daerah penelitian, telah terindeks dan tertimbang untuk menggambarkan zonasi potensi airtanah. Pemilihan tiga parameter tersebut adalah adanya pertimbangan bahwa parameter ini diukur langsung di lapangan, sehingga mencerminkan kondisi aktual potensi airtanah, dan selanjutnya, validasi sudah tidak lagi diperlukan. Berikutnya, pendekatan probabilitas parameter pada tumpang susun yang tertimbang dilakukan, untuk memungkinkan adanya masukan dari kombinasi linear dari bobot probabilitas untuk masing-masing peta tematik yang dihasilkan. Skor yang berbeda pada parameter airtanah diranking berdasarkan pengaruhnya terhadap potensi airtanah. Akhirnya, tool spatial analysis pada Arc GIS 9.2. dilakukan menginterpolasi setiap parameter tanah dan melakukan proses overlaying.

Pada penelitian ini, klasifikasi zona potensi airtanah didasarkan pada klasifikasi yang dibuat oleh Prejaa et al. (2010) dengan sedikit modifikasi. Modifikasi ini diperlukan karena metode indeks overlay tertimbang ini, penilaian manusia dapat dimasukkan kedalam analisis (Saraf dan Choudhury, 1997).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berbagai peta tematik parameter potensi airtanah disajikan pada Gambar 2, 3, 4, dan 5, dan kemudian dibahas secara lebih mendetail sebaran spasialnya terkait bentuklahan yang ditempatinya.

Kedalaman muka airtanah

Pengukuran parameter kedalaman muka airtanah dilakukan pada 90 sumur gali. 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 2.

Gambar 2. Distribusi kedalaman muka airtanah di daerah penelitian

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.

Ketebalan akuifer

Distribusi spasial ketebalan akuifer di daerah penelitian diwakili dengan 16 titik pendugaan geolistrik dengan metode VES, yang kemudian 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.

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.

Gambar 3. Distribusi ketebalan akuifer di daerah penelitian

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 4.

Gambar 4. 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.

Zonasi potensi airtanah

Peta akhir yang merupakan zonasi terpadu dari 3 peta tematik parameter airtanah disajikan pada Gambar 5 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 dikategorikan 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 2 dan Tabel 3.

Gambar 5. Zonasi potensi airtanah

TABEL 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. PREDIKSI POTENSI ZONASI AIRTAHAN 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

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.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini berada didanai oleh Hibah Sekolah Vokasi UGM Nomor UGM/SV/1175.100/III/2014. Penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam sepenuhnya kepada pada asisten MK geohidrologi tahun 2013/2014 atas dukungan mereka dari awal sampai selesainya penelitian ini. Selanjutnya, terimakasih juga kami sampaikan kepada Sdr. Lili Ismangil, untuk bantuannya selaman proses pengambilan data lapangan dengan metode Geolistrik.

REFERENSI

- Adji, T.N., 2003, Studi Pemodelan Recharge Airtanah Tahunan Kotamadya Yogyakarta, Lembaga Penelitian UGM
- 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 Haque
- 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., Adji, T.N., 2014, Karakteristik Akuifer dan Potensi Airtanah Graben Bantul, Gadjah Mada University Press, 299 p., Jogjakarta
- 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., Adji, 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