



KAJIAN KUALITAS AIRTANAH BERBASIS SISTEM INFORMASI GEOGRAFI DI DATARAN ALUVIAL LIMBOTO

Nurfaika

Jurusan Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Universitas Negeri Gorontalo
Jl. Jend. Sudirman No.6, Dulalowo Tim., Kec. Kota Tengah, Kota Gorontalo, Gorontalo 96128
Email: Nurfaika@ung.ac.id

Abstract

This study aims to determine the spatial distribution of groundwater quality based on the Electrical Conductivity (DHL) parameter. This type of research is descriptive qualitative research. The research method used is a survey method. Groundwater quality parameters based on the Electrical Conductivity (DHL) parameters of groundwater were observed in each sample of dug well water directly in the field. The sampling technique of dug wells for DHL measurements is a systematic random sampling technique. The number of shallow groundwater samples analyzed was 156 samples. The results of DHL measurements were analyzed spatially using the Krigign method based on Geographic Information Systems (GIS). The results of the study show that The lowest DHL value was 194 mhos/cm and the highest was 2136 mhos/cm. Based on this variation in value, the DHL research locations were classified into 3 (three) classes, namely safe class (0-1,000 S/cm) or good quality, vulnerable class (1,000-1,500 S/cm) or poor quality, and critical class (1,500) - 5,000 S/cm) or very poor quality.

Keywords: Groundwater Quality, DHL, SIG

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sebaran spasial kualitas airtanah berdasarkan parameter Daya Hantar Listrik (DHL). Jenis penelitian ini adalah penelitian deskriptif kualitatif. Metode penelitian yang digunakan adalah metode survei. Parameter kualitas airtanah berdasarkan parameter Daya Hantar Listrik (DHL) airtanah diamatai pada tiap sampel air sumur gali secara langsung dilapangan. Teknik penentuan sampel sumur gali untuk pengukuran DHL adalah teknik sampel acak sistimatis (systimatic random sampling). Jumlah sampel air tanah dangkal yang dianalisis berjumlah 156 sampel. Hasil pengukuran DHL dianalisis secara spasial menggunakan metode Krigign berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai DHL terendah adalah 194 μ mhos/cm dan tertinggi adalah 2136 μ mhos/cm. Berdasarkan variasi nilai tersebut, DHL lokasi penelitian diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) kelas yaitu kelas aman (0-1.000 μ S/cm) atau kualitas baik, kelas rawan (1.000-1.500 μ S/cm) atau kualitas kurang baik, dan kelas kritis (1.500-5.000 μ S/cm) atau kualitas sangat tidak baik.

Kata Kunci: Kualitas Airtanah, DHL, SIG

1. Pendahuluan

Air merupakan kebutuhan vital untuk keberlangsungan semua makhluk hidup di bumi. Air tanah merupakan air yang terdapat pada pori-pori batuan di bawah permukaan tanah pada zona jenu (Santosa dan Adji, 2014). Kebutuhan airtanah untuk air minum dan pertanian semakin mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dunia dalam kurung waktu tiga tahun terakhir (Zhang et al., 2022). Sumberdaya air tanah merupakan sumber air yang memiliki peranan penting sebagai pemasok air bersih untuk pemenuhan kebutuhan domestik industri dan pertanian. Air tanah, adalah air yang ada di bawah permukaan tanah pada zona jenuh air dengan tekanan hidrostatis sama atau lebih besar daripada tekanan udara didalam suatu wadah/akuifer (Kodoatie, R., 2012). Airtanah merupakan alternatif utama bagi masyarakat untuk mendapatkan air bersih dengan murah. Perkembangan pemukiman yang pesat dan tidak teratur akan merusak kualitas air tanah (Saeni, 2010). Pada bidang pertanian, kualitas air berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman. Menurut Siswoyo et al (2020), keberadaan air tanah sebagai alternatif sumber air irigasi sudah seharusnya tersedia bukan hanya dari segi kuantitas, namun harus memperhatikan kualitasnya. Air irigasi untuk petanian dengan kualitas air yang tidak baik

akan menghambat pertumbuhan tanaman dan bahkan akan mencemari tanah, dan kurang cocok untuk pertanian karna kandugan senyawa organik atupun salinitasnya (Suyana, J., dan Widijanto, 2002).

Pemanfaatan air tanah untuk Irigasi di Provinsi Gorontalo dari sumur bor sejak tahun 1990 dan sampai saat ini. Cekungan Air Tanah (CAT) Limboto-Gorontalo merupakan wilayah pengembangan Air Tanah yang paling pertama untuk Proyek Pengembangan Air Tanah (P2AT) (Pranantya & Rengganis, 2010). Secara Geomorfologis, Dataran Aluvial Limboto-Gorontalo terletak dalam lingkup CAT Limboto-Gorontalo. Berdasarkan potensi kuantitasnya, wilayah tersebut merupakan wilayah yang memiliki potensi air tanah yang cukup tinggi (Nurfaika, 2019). Menurut Wibowo et al (2021), permasalahan pencemaran air tanah yang tinggi sering ditemukan di wilayah bentuklahan dataran Aluvial. Dataran Aluvial menepati wilayah dengan elevasi yang rendah dari pada wilayah sekitarnya, sehingga mudah untuk menyalurkan dan menyimpan air tanah yang telah terkontaminasi atau tercemar. Selain oleh karna kondisi fisik wilayah, permasalahan kualitas air tanah juga sering terjadi terutama di daerah yang memiliki sarana tangki septik yang rapat dan berdekatan dengan sumur gali. Selain itu, penurapan air tanah dangkal yang berlebihan dapat meyebabkan turunnya muka air tanah. Jika permaslaah tersebut tidak dikendalikan, maka akan meyebabkan zat pencemar dari saluran tangki septik akan masuk ke dalam akuifer air tanah dangkal (Saeni, 2010). Sasongko (2006) mengemukakan bahwa, tingkat pendidikan masyarakat berpengaruh terhadap permasalahan pencemaran airtanah. Misalnya, kebiasaan masyarakat waktu mandi dan mencuci, umumnya membuang air limbah domestik ke badan sungai atau kesaluran drainase tanah.

Kajian terkait kualitas air tanah berdasarkan karakteristik fisika-kimia airtanah penting untuk dilakukan dalam kajian hidrogeologi untuk perencanaan, pengelolaan dan pemanfaatan airtanah yang berkelanjutan. Salah satu parameter fisika airtanah yang perlu untuk dianalisis adalah Daya Hantar Listrik (Electrical Conductivity). DHL merupakan parameter penting dalam penilaian kualitas airtanah untuk air minum dan irigasi, karena terkait dengan keterdapatan konsentrasi ion dalam air. Pemantauan kualitas airtanah dilakukan berdasarkan sampel air sumur dalam kurun waktu setahun atau dua kali dalam setahun untuk tujuan pengawasan, agar perubahan kualitas air secara signifikan dapat diketahui (Mandel, 1979).

Kajian airtanah kaitannya dengan karakteristik kualitas airtanah berdasarkan parameter DHL melalui pemanfaatan SIG dengan metode kuantitatif telah dilakukan beberapa peneliti sebelumnya. Misalnya, Tutmez et al (2006), melakukan penelitian terkait pengembangan model neuro-fuzzy inference system (AFNIS) untuk mengetahui kandungan ion dalam air berdasarkan paramater daya hantar listrik (electrical conductivity). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa metod AFNIS dapat diterapkan untuk kategorisasi sampel air oleh sistem klasifikasi Manner, serta berkesesuaian dengan karakteristik fisika airtanah. Nurfaika et al (2020), melakukan penelitain untuk membandingkan antara metode deterministik (IDW dan RBF) dan metode klasik metode *three point problem* untuk pemetaan pola aliran airtanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode RBF lebih baik dibandingkan metode IDW, meskipun demikian hasil pemetaan menggunakan interpolasi IDW maupun RBF tidak jauh berbeda dari hasil pemetaan menggunakan interpolasi manual. Berdasarkan dari beberapa hasil penelitian

tersebut diatas, metode interpolasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Inverse Distance Weight* (IDW) berbasis SIG.

2. Bahan dan Metode

Penelitian dilakukan di Dataran Aluvial Limboto, Kecamatan Limboto Kabupaten Gorontalo. Berdasarkan letak astronomis, terletak pada 0039'30"- 0033'03"LU dan 122052'00"-123020'00"BT. Lokasi penelitian difokuskan di wilayah Dataran Aluvial Limboto-Gorontalo pada satuan formasi batuan Endapan Danau di wilayah Kabupaten Gorontalo. Berdasarkan peta Geologi Lembar Limboto skala 1:100.000 (Bawono, 1990) dan peta Geologi Lembar Limboto skala 1:50.000 (Sidarto, 2010), lokasi penelitian terdiri dari satuan batuan formasi endapan danau, dengan umur batuan terbentuk pada zaman kuarter (Holosen-Plistosen).

Data penelitian adalah parameter daya hantar listrik (DHL) airtanah. Perolehan data DHL dilakukan dengan menggunakan alat conductivity meter merek Hanna HI98311. Sebelum alat tersebut digunakan, dilakukan kalibrasi alat sesuai spesifikasi dan prosedur penggunaannya agar diperoleh hasil yang akurat. Pengukuran nilai DHL dilakukan langsung di lapangan dengan cara mencelupkan bagian indikator alat conductivity meter pada sampel air yang di timba atau di turap langsung dari dalam sumur gali seperti yang terlihat pada Gambar 1. Agar diperoleh hasil yang baik, pengukuran nilai DHL dilakukan sebanyak tiga kali pada tiap sampel air yang sama, nilai yang di catat adalah nilai yang relatif menunjukkan besaran nilai yang sama atau tetap. Satuan pengukuran nilai DHL pada alat tersebut adalah microsiemens per centimeter ($\mu\text{S}/\text{cm}$).



Gambar 1. Pengukuran Nilai DHL dengan alat conductivity meter

Pemetaan spasial nilai DHL dibuat berdasarkan data hasil pengukuran nilai DHL sampel air sumur gali yang berjumlah 156 sampel. Tahapan cara pembuatan peta DHL secara rinci diuraikan sebagai berikut: 1) Langkah paling awal yang dilakukan adalah proses analisis statistik data hasil pengukuran dengan menghitung nilai minimum, nilai maksimum dan standar deviasi (SD) data DHL. Semakin tinggi nilai SD, maka hasil interpolasi akan semakin bervariasi. 2) Uji normalitas dengan menggunakan SPSS metode Kolmogorov-Smirnov. Taraf signifikan untuk uji normalitas data metode Kolmogorov-Smirnov adalah > 0.05 . Untuk data yang memiliki distribusi tidak normal, maka dilakukan proses transformasi sehingga diperoleh data yang terdistribusi normal. 3) Analisis spasial

data DHL dengan menggunakan metode interpolasi berbasis SIG. 4) Interpolasi berbasis SIG dilakukan melalui pemanfaatan geostatistical tools analysis ArcGIS, dengan menggunakan metode interpolasi IDW.

Parameter DHL dianalisis secara spasial dengan menggunakan metode interpolasi. Hasil interpolasi dianalisis lanjut dengan melakukan kegiatan reklasifikasi yaitu proses pembuatan klasifikasi dari data hasil interpolasi kedalam beberapa kelas atau kategori sehingga analisis secara keruangan lebih mudah untuk dilakukan. Seperti yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya, DHL ditentukan dengan menggunakan alat conductivity meter. Nilai DHL dijadikan indikator kualitas airtanah dengan asumsi bahwa semakin kecil nilai DHL mengindikasikan kualitas airtanah semakin baik, karena semakin kecil nilai DHL mengindikasikan kandungan ion terlarut pada air tanah di lokasi tersebut termasuk dalam kategori rendah dan masih aman untuk digunakan. Agar diperoleh kemudahan dalam proses analisis sebaran spasial, maka dilakukan proses reklasifikasi, yaitu membuat klasifikasi ulang hasil interpolasi menjadi beberapa kategori atau kelas. Nilai DHL diklasifikasikan berdasarkan Kepmen ESDM No.31 tahun 2018 yang diintegrasikan berdasarkan hasil literature review menurut para ahli. Pada penelitian ini nilai DHL air tanah diklasifikasikan kedalam 4 (empat) kelas dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi nilai DHL Airtanah Bebas

Kategori	DHL ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Tingkat kerusakan
Tawar	0 – 1.000	Aman
Payau	1.000 – 1.500	Rawan
Asin	1.500 – 5.000	Kritis
Sangat Asin	>5.000	Rusak

3. Hasil dan Pembahasan

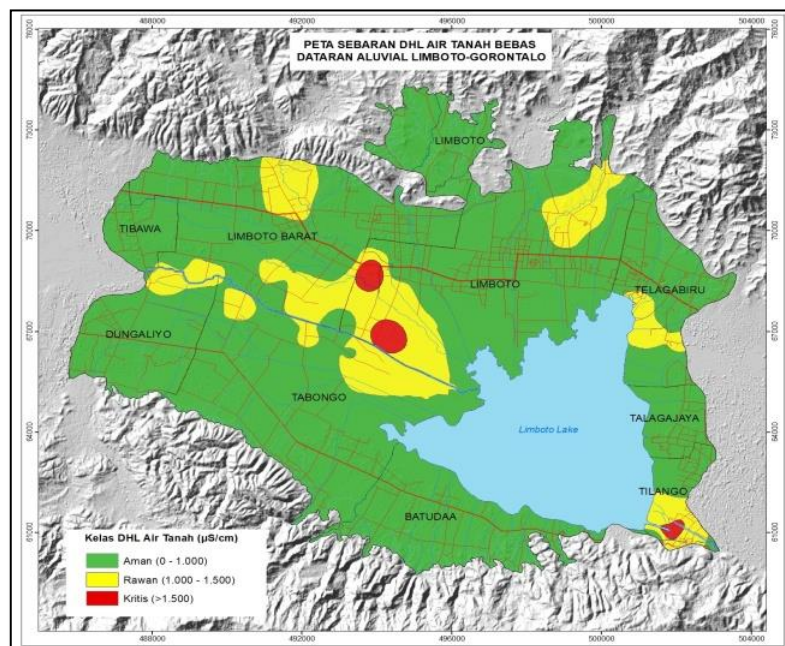
Parameter DHL merupakan parameter karakteristik fisik air tanah yang mengindikasikan kualitas air tanah. Menurut Siswoyo et al (2020), terdapat hubungan yang erat antara nilai DHL air tanah dengan indeks kualitas air tanah untuk irigasi. Pada penelitian ini, sampel air tanah yang diamati terdiri atas 156 sampel air sumur gali. Hasil analisis sebaran variasi nilai DHL sampel air sumur lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan hasil analisis dari variasi sebaran nilai DHL di lokasi penelitian, nilai DHL terendah adalah 194 $\mu\text{mhos/cm}$ dan DHL tertinggi adalah 2136 $\mu\text{mhos/cm}$. Berdasarkan variasi nilai tersebut, DHL lokasi penelitian diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) kelas yaitu kelas aman (0-1.000 $\mu\text{S/cm}$), kelas rawan (1.000-1.500 $\mu\text{S/cm}$), dan kelas kritis (1.500-5.000 $\mu\text{S/cm}$).

Tabel 2. Karakteristik fisik airtanah lokasi penelitian

Kode	Desa	Karakteristik fisik airtanah		
		DHL ($\mu\text{S/cm}$)	Warna /Kekeruhan	Bau
SR127	Ilomangga	978	Kuning	Tb
SR128	Ilomangga	1084	Kuning	Tb
SR4	Hutadaa	1138	Keruh	Tb
SR19	Balahu	852	Keruh	Tb
SR45	Ombulo	1395	Keruh	Tb
SR31	Ombulo	765	Keruh	Tb
SR37	Hutabohu	1302	Keruh	Tb

SR43	Dungaliyo	1196	Keruh	Tb
SR56	Huidu	796	Keruh	Tb
SR67	Kayu Merah	801	Keruh	Tb
SR79	Tenilo	1466	Keruh	Tb
SR81	Bolihuangga	577	Keruh	Tb
SR82	Bolihuangga	1025	Keruh	Tb
SR16	Haya-haya	786	Keruh	Tb

Secara keruangan, kajian spasial sebaran DHL air tanah lokasi penelitian dilakukan melalui kegiatan pemetaan dengan menggunakan metode interpolasi berbasis SIG. Adapun sebaran spasial nilai DHL air tanah bebas lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta Sebaran Daya Hantar Listrik (DHL) Air Tanah Bebas Dataran Aluvial Limboto-Gorontalo

Hasil analisis data nilai DHL, sebaran nilai DHL disajikan dalam bentuk peta (Gambar 2). Berdasarkan Kepmen ESDM No.31 tahun 2018, umumnya nilai DHL air tanah lokasi penelitian didominasi oleh kategori zona aman. Tersebar secara merata diseluruh lokasi penelitian. Adapun sebaran nilai DHL kategori zona rawan dan kritis secara umum terakumulasi di wilayah bagian tengah lokasi penelitian, dan kategori rawan persebarannya juga terdapat di beberapa wilayah dengan luasan area yang relatif sempit.

Secara keruangan, sebaran distribusi spasial lokasi sampel yang termasuk kedalam zona rawan dan kritis dengan nilai DHL pada kisaran >1.000 jika dihubungkan dengan pola persebaran spasial arah aliran air tanah, dapat diasumsikan bahwa lokasi yang termasuk dalam zona rawan dan kritis merupakan wilayah memiliki tekanan hidrostatik yang rendah (TMA rendah) dan merupakan titik akumulasi aliran air tanah yang berasal dari kompleks pegunungan atau perbukitan Utara dan Selatan Danau. Hal tersebut selaras dengan hasil penelitian yang telah dilakukan terkait pola aliran airtanah di wilayah dataran Aluvial Limboto-Gorontalo, dimana arah aliran airtanah diwilaya tersebut berasal dari arah Utara dan Selatan danau Limboto (Nurfaika, 2021). Oleh sebab itu, wilayah tersebut

diperkirakan menjadi titik akumulasi senyawa-senyawa anorganik yang terbawah dari aliran air tanah yang berasal dari wilayah pegunungan dan perbukitan Utara dan Selatan yang merupakan pegunungan dan perbukitan formasi batuan sedimen atau batu gamping yang mengandung unsur kalsium karbonat (CaCO_3).

Sebaran nilai DHL jika dihubungkan dengan pola persebaran karakteristik fisik air tanah, teridentifikasi bahwa rata-rata sumur yang memiliki nilai DHL tinggi memiliki air yang keruh dan berwarna kuning seperti yang diuraikan pada tabel karakteristik fisik air tanah bebas (Tabel 2). Menurut Cahyadi & Hidayat (2017), air tanah yang memiliki DHL tinggi menunjukkan bahwa terdapat padatan terlarut yang tinggi dalam air tanah yang menyebabkan mobilitas dan jumlah ion-ion terlarut per volume meningkat. Keterdapatannya nilai DHL tinggi di beberapa lokasi di wilayah penelitian mengindikasikan bahwa di lokasi tersebut dan sekitarnya mengandung konsentrasi garam yang cukup tinggi dan kualitas air tanah yang telah mengalami degradasi atau pencemaran (Rawat et al., 2018).

Berdasarkan hasil analisis keterkaitan antara karakteristik fisik airtanah (warna, kekeruhan, bau dan rasa) dari 156 sampel air tanah atau sumur gali, teridentifikasi 2 titik sampel air sumur yang berwarna kuning, tidak berbau dan tidak berasa yaitu pada titik sampel SR 127 dan SR 128 di desa Ilomangga. Jika dikorelasikan dengan nilai DHLnya, secara umum kedua sampel air sumur tersebut memiliki nilai DHL yang cukup tinggi, yaitu SR 127 memiliki $\text{DHL} = 978 \mu\text{S/cm}$ dan SR 128 memiliki nilai $\text{DHL} = 1084 \mu\text{S/cm}$, hal tersebut mengindikasikan air sumur pada titik sampel tersebut telah tercemar.

Karakteristik fisik air keruh atau tidak jernih, juga ditemukan pada 12 (dua belas) titik sampel sumur di lapangan. Secara umum, kekeruhan air tersebut disebabkan oleh adanya unsur kapur yang terdapat pada sampel air yang dapat diamati secara langsung di lapangan dan berdasarkan informasi dari warga pemilik sumur itu sendiri. Selain itu, secara umum sumur gali yang ada di lokasi penelitian oleh masyarakat setempat dijadikan sebagai sumber air untuk mandi dan mencuci, sehingga beberapa titik lokasi di lapangan menunjukkan adanya sumur yang berdekatan dengan WC dan tangki septik. Hal tersebut selaras dengan apa yang dikemukakan oleh Saeni (2010), bahwa air tanah dangkal mendapat imbuhan dari rembesan air hujan, dan pada wilayah pemukiman yang padat dengan sistem sanitasi yang kurang baik, maka air selokan atau air dari tangki septik yang bocor akan merembes ke akuifer dan terkontaminasi dengan air tanah dangkal. Menurut Suyono (1993), saluran pembuangan limbah yang terbuka tanpa disemen akan menyebabkan kemungkinan peresapan air ke dalam tanah. Hal tersebut terdapat di lokasi penelitian dan tersebut menyebabkan air sumur gali tercemar dengan indikasi nilai DHL air tanah dangkal yang tinggi.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa secara spasial kualitas airtanah berdasarkan parameter DHL yang dianalisis menggunakan metode interpolasi ordinari kriging berbasis SIG, teridentifikasi bahwa nilai DHL terendah adalah $194 \mu\text{mhos/cm}$ dan tertinggi adalah $2136 \mu\text{mhos/cm}$. Secara spasial, teridentifikasi bahwa umumnya lokasi penelitian didominasi oleh kondisi airtanah yang memiliki kualitas baik. Meskipun demikian, di wilayah Kecamatan Tabongo, Limboto Barat, dan Tilango terdapat wilayah yang memiliki spotlight kategori krisis yaitu tepatnya di desa Ombulo, Hutabohu, dan Tinelo. Untuk penyempurnaan kajian terkait kualitas airtanah, disarankan untuk

dilakukan penelitian lanjutan terkait kualitas airtanah untuk peruntukan domestik dan pertanian.

Referensi

- Cahyadi, A., & Hidayat, W. (2017). Analisis Karakteristik Hidrogeokimia Airtanah Di Pulau Koral Panggal, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta. *Jurnal Geografi*, 9(2), 99. <https://doi.org/10.24114/jg.v9i2.6052>
- Danaryanto, H. 2005, Air tanah di Indonesia dan pengelolaannya. Jakarta: Departemen ESDM.
- Herlambang, A. 1996, Kualitas air tanah dangkal di Kabupaten Bekasi, Bogor : Pascasarjana IPB.
- Kodoatie, R., J. (2012). Tata Ruang Air Tanah. In Penerbit Andi.
- Mandel, S. and Z. L. S. N. (1979). Groundwater Resources.
- Nurfaika. (2019). Integrasi SIG-metode MIF untuk Identifikasi Zona Potensi Air Tanah (Studi Kasus Di Sub DAS Limboto-Gorontalo). Prosiding Seminar Nasional Geografi II.
- Nurfaika, N. (2021). Pemetaan Potensi Air Tanah Dangkal Berbasis Sistem Informasi Geografi di Kecamatan Limboto Provinsi Gorontalo. *Geodika: Jurnal Kajian Ilmu Dan Pendidikan Geografi*, 5(2), 236–246. <https://doi.org/10.29408/geodika.v5i2.4020>
- Nurfaika, Purnama, S., & Hartono. (2020). The determination of groundwater flow system using several deterministic classical methods in Limboto-Gorontalo Lowland, Gorontalo Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 485(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/485/1/012039>
- Pranantya, P. A., & Rengganis, H. (2010). Interpretasi Geohidrologi Untuk Penentuan Sistem Sistem Cekungan Air Tanah Limboto-Gorontalo. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 6(2), 95–192.
- Rawat, K. S., Amali, T. G., & Kumar, S. (2018). Survei Hidrokimia dan Kuantifikasi Variasi Spasial Kualitas Air Tanah di Wilayah Pesisir Chennai , Tamilnadu , India – studi kasus. *Jurnal Geografi Indonesia*, 50(1).
- Saeni, M. . (2010). Kualitas Air Tanah Dangkal Daerah Pemukiman di Kabupaten Bekasi. FMIPA IPB.
- Sasongko, L. A. (2006). Kontribusi Air Limbah Domestik Terhadap Kualitas Air Sungai Kaligarang Serta Upaya Penanganannya (Studi Kasus Kelurahan Sampangan dan Bendan Ngisor Kecamatan Gajah Mungkur Kota Semarang). Universitas Diponegoro. undip.ac.id
- Siswoyo, H., Juwono, P. T., & Taufiq, M. (2020). Model Indeks Kualitas Air Tanah sebagai Dasar Penentuan Alternatif Jenis Tanaman Pertanian pada Lahan Irigasi Air Tanah di Kabupaten Mojokerto. *Jurnal Wilayah Dan Lingkungan*, 8(1), 1–14. <https://doi.org/10.14710/jwl.8.1.1-14>
- Suyana, J., dan Widjanto, H. (2002). Studi Kualitas Air dan Sumbangn Hara dari Irigasi Sidorejo-Jawa Tengah pada Budidaya Padi Sawah. *Sains Tanah*, 1(2).
- Suyono, S. (1993). Kualitas Air Tanah di tiga Ibu Kota Kecamatan (Kutowinangun, Prembun dan Kutoarjo) dan Kaitannya dengan Sanitasi Lingkungan Sekitar. *Forum Geografi*, 13.
- Tutmez, B., Hatipoglu, Z., & Kaymak, U. (2006). Modelling electrical conductivity of groundwater using an adaptive neuro-fuzzy inference system. *Computers and Geosciences*, 32(4), 421–433. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2005.07.003>
- Wibowo, D. A., Raharjo, P. D., Puswanto, E., Winduhutomo, S., Afif, M. Al, & Saputro, S. P. (2021). Identifikasi Pencemaran Airtanah Bebas Menggunakan Geolistrik di Lokasi Sekitar Industri Penyamakan Kulit. *Majalah Geografi Indonesia*, 35(1), 22. <https://doi.org/10.22146/mgi.61106>