

Geomedia

Majalah Ilmiah dan Informasi Kegeografian

Geomedia Vol. 21 No. 2 Tahun 2023 | 172 – 180

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

Distribusi spasial nitrat air tanah di Kecamatan Nanggulan, Kulon Progo, Yogyakarta

Fajrul Falah^{a, 1*}, Sadewa Purba Sejati^{a, 2}

^a Program Studi Geografi, Universitas Amikom Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

¹fajrul.falah@students.amikom.ac.id; ²sadewa@amikom.ac.id

*korespondensi penulis

Informasi artikel	ABSTRAK
<p><i>Sejarah artikel</i></p> <p>Diterima : 30 Juni 2023</p> <p>Revisi : 29 Oktober 2023</p> <p>Dipublikasikan : 30 November 2023</p> <p>Kata kunci:</p> <p>Air tanah</p> <p>Nitrat</p> <p>Sistem informasi geografis</p> <p>Interpolasi spasial</p>	<p>Pemukiman penduduk di Kecamatan Nanggulan sebagian besar berdekatan dengan sawah irigasi. Air tanah di pemukiman yang dekat dengan sawah irigasi berpotensi terkontaminasi nitrat. Kajian mengenai distribusi spasial nitrat air tanah di sekitar sawah irigasi belum pernah dilakukan di Kecamatan Nanggulan, Kabupaten Kulon Progo. Penelitian dilakukan untuk mengetahui distribusi spasial nitrat dalam air tanah di Kecamatan Nanggulan, Kabupaten Kulon Progo. Data nitrat dikumpulkan melalui uji sampel air tanah. Lokasi sampel air tanah ditentukan menggunakan metode acak bersistem. Data dianalisis dengan metode interpolasi spasial melalui perangkat lunak Arc GIS 10.6. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat variasi distribusi spasial nitrat di daerah penelitian. Daerah penelitian mayoritas berkadar nitrat 5-10 mg/L yang terdistribusi di bagian selatan. Nitrat yang melebihi 10 mg/L terdistribusi di bagian utara daerah penelitian. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa 41% air tanah di daerah penelitian terkontaminasi nitrat, sedangkan 59% air tanah tidak terkontaminasi nitrat. Secara spasial, air tanah yang terkontaminasi nitrat terdapat di sebagian Desa Tanjungharo, sebagian Desa Wijimulyo, sebagian Desa Donomulyo, sebagian Desa Jatisarono, dan sebagian Desa Kembang. Air tanah yang tidak terkontaminasi nitrat terdapat di Desa Banyuroto dan sebagian besar wilayah Desa Donomulyo. Faktor yang menyebabkan air tanah terkontaminasi nitrat adalah lokasi sumur galian dekat dengan sawah irigasi yang dipupuk secara intensif, air tanah terdapat dalam formasi geologi endapan gunung api merapi muda, dan kedalaman air tanah kurang dari 5 meter.</p>
<p>Keywords:</p> <p>Groundwater</p> <p>Nitrate</p> <p>Geographic information system</p> <p>Spatial interpolation</p>	<p>ABSTRACT</p> <p>Residential areas in Nanggulan sub-district are mainly adjacent to irrigated rice fields. Groundwater in settlements close to irrigated rice fields has the potential to be contaminated with nitrates. Studies on the spatial distribution of groundwater nitrate around irrigated rice fields have never been conducted in Nanggulan District, Kulon Progo Regency. The study was conducted to determine the spatial distribution of nitrates in groundwater in Nanggulan District, Kulon Progo Regency. Nitrate data were collected through groundwater sample testing. The location of groundwater samples is determined using a systematic random sampling.</p>

The data was analyzed by spatial interpolation method through Arc GIS 10.6 software. The results showed variations in the spatial distribution of nitrates in the study area. Most of the study area had nitrate levels of 5-10 mg / L distributed in the south. Nitrates exceeding ten mg/L were distributed in the northern part of the study area. Based on research that has been conducted, it is known that 41% of groundwater in the study area is contaminated with nitrates, while 59% of groundwater is not contaminated with nitrates. Spatially, nitrate-contaminated groundwater is found in parts of Tanjungharo Village, some Wijimulyo Village, some Donomulyo Village, some Jatisarono Village, and some Kembang Villages. Groundwater not contaminated with nitrates is found in Banyuroto Village and most areas of Donomulyo Village. Factors that cause nitrate-contaminated groundwater are the location of excavated wells close to intensively fertilized irrigated rice fields, groundwater contained in geological formations of young Merapi volcano deposits, and groundwater depth of less than 5 meters.

© 2023 (Fajrul Falah & Sadewa Purba Sejati Sejati). All Right Reserved

Pendahuluan

Studi yang dilakukan oleh para peneliti pendahulu menunjukkan bahwa area pertanian berpotensi mengontaminasi air tanah (Alamne *et al.*, 2022; Bijay-Singh & Craswell, 2021; Torfs, P., 2015). Aktivitas pertanian sangat erat kaitannya dengan penggunaan pupuk. Kontaminan yang terdapat dalam pupuk pertanian adalah nitrat (Effendi, H., 2003; Torfs, P., 2015). Para peneliti pendahulu juga telah mengkaji kontaminasi air tanah akibat penggunaan pupuk pertanian di berbagai daerah yang dapat dilihat pada [Tabel 1](#).

Tabel 1. Distribusi kontaminasi air tanah karena penggunaan pupuk pertanian di berbagai daerah

Daerah terkontaminasi nitrat akibat penggunaan pupuk pertanian	Sumber data
Iran bagian timur laut	(Zendeabad <i>et al.</i> , 2022)
Provinsi Shandong, Cina	(Liu <i>et al.</i> , 2017)
Bagian tenggara dataran Thesally, Yunani	(Sidiropoulos <i>et al.</i> , 2019)
Lembah Sungai Suwannee, Florida, Amerika Serikat	(Rath <i>et al.</i> , 2021)

Dataran Cina bagian utara	(Xu <i>et al.</i> , 2021)
Daerah aliran Sungai Code, Yogyakarta, Indonesia	(Muryanto <i>et al.</i> , 2019)
Desa Tumpukan, Kecamatan Karangdowo, Klaten, Indonesia	(Dewi <i>et al.</i> , 2016)

Kecamatan (kapanewon) Nanggulan memiliki lahan pertanian, khususnya sawah irigasi, terluas di Kabupaten Kulon Progo (Pertapa, 2019). Pemukiman penduduk di Kecamatan Nanggulan sebagian besar berdekatan dengan sawah irigasi. Dekatnya area sawah irigasi dengan area pemukiman diduga berdampak terhadap kualitas air tanah yang digunakan penduduk untuk mencukupi kebutuhan air bersih. Penggunaan pupuk untuk mendukung aktivitas pertanian di sawah irigasi berpotensi mengontaminasi air tanah melalui parameter kontaminan nitrat. Air tanah yang terkontaminasi nitrat dapat berdampak buruk bagi kesehatan jika digunakan sebagai sumber air konsumsi (Handayani *et al.*, 2022; Rahman *et al.*, 2021). Informasi mengenai distribusi spasial nitrat air tanah sangat diperlukan untuk mengetahui persebaran kandungan nitrat air tanah di Kecamatan Nanggulan. Informasi tersebut dapat digunakan oleh pihak terkait untuk memantau dan meminimalisir dampak aktivitas

pertanian terhadap kualitas air tanah akibat nitrat secara keruangan di Kecamatan Nanggulan, Kabupaten Kulon Progo.

Kajian distribusi spasial nitrat air tanah di sekitar sawah irigasi Kecamatan Nanggulan belum pernah dilakukan hingga saat ini. Masifnya aktivitas pertanian pada area sawah irigasi di Kecamatan Nanggulan belum diimbangi dengan kajian distribusi spasial nitrat air tanah di daerah tersebut, sehingga informasi persebaran nitrat air tanah juga belum diketahui.

Berdasarkan uraian latar belakang, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui distribusi spasial nitrat dalam air tanah di Kecamatan Nanggulan, Kabupaten Kulon Progo. Objek penelitian adalah kandungan nitrat yang terdapat dalam air tanah di sekitar area sawah irigasi. Hasil penelitian diharapkan dapat memperkaya referensi terkait pola spasial nitrat dalam air tanah dan dapat digunakan oleh instansi terkait untuk memantau dan meminimalisir dampak negatif aktivitas pertanian terhadap kualitas air tanah di Kecamatan Nanggulan, Kabupaten Kulon Progo.

Metode

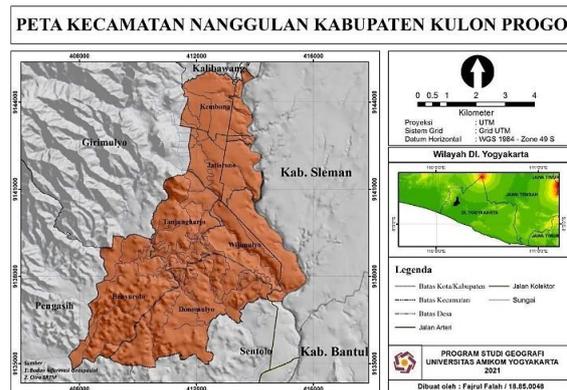
1. Daerah Penelitian

Penelitian dilakukan di Kecamatan Nanggulan, Kabupaten Kulon Progo, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Daerah penelitian dapat dilihat pada [Gambar 1](#). Daerah penelitian berada dalam koordinat *universal transverse mercator* (UTM) 9135000-914400 North dan 408000-416000 East. Penggunaan lahan di daerah pemukiman didominasi oleh sawah irigasi dengan luas 1392 ha ([Progo, B. K. K., 2022](#)).

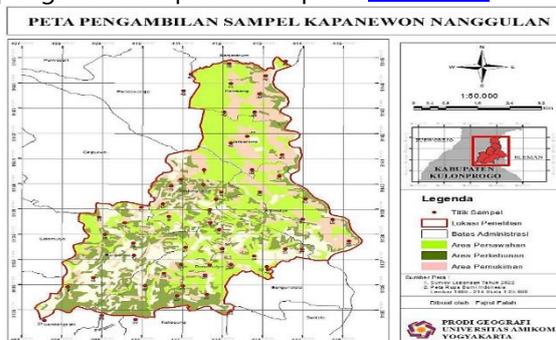
Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian adalah nitrat yang terdapat dalam air tanah bebas. Data nitrat dikumpulkan pada Bulan Mei 2022 melalui survei lapangan. Nitrat air tanah diukur melalui sumur galian yang terdistribusi di daerah

penelitian. Lokasi sumur ditentukan dengan metode acak sistematis melalui metode *grid*. Teknik sampling acak sistematis dengan membuat *grid* digunakan agar sampel yang dikumpulkan dapat mewakili kondisi seluruh daerah penelitian ([Dixon & Leach, 2015](#); [Novianto & Sejati, 2023](#); [Sejati, S. P., 2019](#); [Yunus, H. S., 2009](#)). Peta lokasi pengumpulan sampel dapat dilihat pada [Gambar 2](#). Peralatan yang digunakan untuk



Gambar 1. Daerah penelitian mengumpulkan data meliputi *GPS Receiver Type* Garmin 64 S, botol sampel, perangkat pengujian sampel nitrat, dan daftar isian. Beberapa foto sumur galian yang digunakan sebagai objek pengukuran dapat dilihat pada [Gambar 3](#).



Gambar 2. Lokasi pengumpulan sampel

2. Analisis Data

Data dianalisis menggunakan perangkat lunak pengolah data spasial, yaitu Arc GIS versi 10.6. Metode analisis data spasial yang digunakan adalah interpolasi spasial. Interpolasi spasial digunakan untuk mengolah data spasial vektor berbentuk titik (*point*) nitrat air tanah menjadi data spasial vektor berbentuk area atau poligon. Teknik interpolasi spasial yang digunakan adalah *inverse*

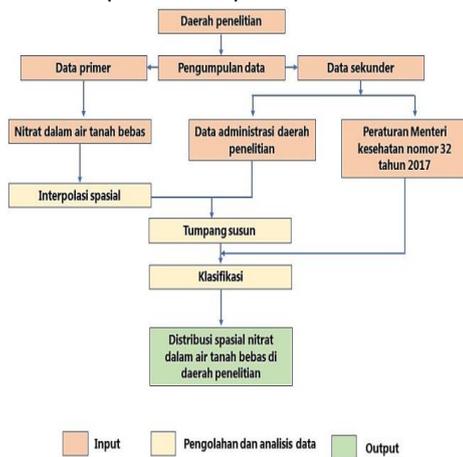
distance weighting (IDW). Pemilihan metode IDW didasarkan atas distribusi sampel air tanah yang



tidak teratur. Berdasarkan kajian yang dilakukan oleh [Sejati, S. P., \(2019\)](#) dan [Longley et al., \(2015\)](#), teknik interpolasi IDW terhadap data spasial yang persebarannya tidak teratur menghasilkan model geospasial dengan nilai *root mean square error* (RMSE) mendekati angka nol.

Gambar 3. Sumur galian di daerah penelitian

Distribusi spasial nitrat dalam air tanah bebas kemudian dibandingkan dengan peraturan menteri kesehatan (PERMENKES) nomor 32 tahun 2017 untuk mengetahui status air tanah. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada [Gambar 4](#).



Gambar 4. Diagram alir penelitian

Hasil dan pembahasan

Hasil

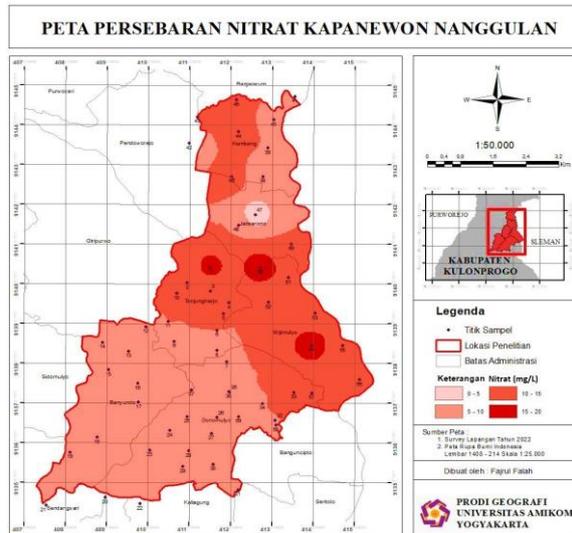
Air tanah bebas di daerah penelitian memiliki nitrat yang bervariasi. Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan di 60 lokasi sampel sumur galian, diketahui bahwa angka terendah nitrat adalah 0 mg/ L, sedangkan angka tertinggi adalah 20 mg/ L. Nitrat terendah dijumpai di lokasi pengukuran nomor 42 dan 47 ([Gambar 2](#)), yaitu di Desa Kembang dan Desa Jatisarono. Angka nitrat tertinggi berada di lokasi pengukuran nomor 1, 50,

dan 54 ([Gambar 2](#)) yaitu di Desa Tanjungharjo dan Desa Wijimulyo. Hasil interpolasi spasial nitrat air tanah di seluruh lokasi penelitian dapat dilihat pada [Gambar 4](#). Hasil interpolasi spasial yang telah diklasifikasikan juga dirinci berdasarkan wilayah desa yang dapat dilihat pada [Tabel 2](#).

Tabel 2. Klasifikasi nitrat berdasarkan wilayah desa di daerah penelitian

Klasifikasi nitrat berdasarkan data pengukuran lapangan	Wilayah
0-5 mg/L	Sebagian Desa Jatisarono
5-10 mg/L	Sebagian Desa Banyuroto, sebagian Desa Donomulyo, sebagian Desa Tanjungharjo, sebagian Desa Jatisarono, dan sebagian Desa Kembang
10-15 mg/L	Sebagian Desa Tanjungharjo, sebagian Desa Wijimulyo, sebagian Desa Donomulyo, sebagian Desa Jatisarono, dan sebagian Desa Kembang
15-20 mg/L	Sebagian Desa Tanjungharjo, sebagian Desa Wijimulyo

Berdasarkan hasil interpolasi spasial yang divisualisasikan pada [Gambar 4](#), diketahui bahwa air tanah bebas di daerah penelitian didominasi oleh nitrat pada kelas 5-10 mg/L. Secara spasial, kelas nitrat 5-10 mg/ L mayoritas terdapat di bagian selatan dan sebagian kecil di bagian utara daerah penelitian. Visualisasi yang disajikan dalam [Gambar 4](#), juga menunjukkan bahwa semakin ke utara daerah penelitian, angka nitrat cenderung semakin tinggi.



Gambar 4. Peta distribusi nitrat air tanah di daerah penelitian

Hasil pengujian nitrat air tanah kemudian dibandingkan dengan nilai baku mutu air bersih yang dipublikasikan oleh Kementerian Kesehatan melalui Peraturan Menteri Kesehatan melalui Peraturan Menteri Kesehatan (PERMENKES) Nomor 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air. Berdasarkan peraturan tersebut, kadar nitrat yang diperbolehkan dalam air adalah tidak lebih dari 10 mg/L, jika nitrat melebihi angka tersebut maka air telah terkontaminasi (Indonesia, K. K. R., 2017).

Distribusi Spasial Nitrat dan Faktor-Faktor Penyebabnya

Nitrat merupakan unsur kimia yang mudah larut dalam air (Killpack & Bucholz, 2022). Salah satu penyebab kontaminasi air tanah terhadap nitrat adalah penggunaan pupuk yang berlebihan (Torfs, P., 2015; Vinod et al., 2015). Nitrat mudah mengalami pelindihan melalui proses infiltrasi dan perkolasi hingga akhirnya sampai pada zona saturasi (zona jenuh air tanah). Mobilisasi nitrat menuju zona jenuh air tanah tergantung dari permeabilitas material alami di lapisan tanah atas dan zona aerasi (zona tidak jenuh air tanah) (Killpack & Bucholz, 2022). Variasi nitrat dalam air tanah bebas di daerah penelitian kemungkinan disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu

penggunaan lahan, penggunaan pupuk yang intesif, dan konfigurasi kondisi fisik alami di daerah penelitian.

Areal sawah irigasi terluas di Kecamatan Nanggulan terdapat di Desa Kembang, Desa Jatisarone, Desa Tanjungharjo, Desa Donomulyo, dan Desa Wijimulyo. Desa- desa tersebut cenderung berada di sisi utara daerah penelitian. Nitrat yang tinggi di desa- desa tersebut disebabkan karena areal persawahan yang luas dan menerima pemupukan secara intensif. Berdasarkan wawancara dengan beberapa warga, area persawahan lebih intensif menerima pupuk dibandingkan dengan area kebun dan ladang. Bagian selatan Kecamatan Nanggulan bagian selatan memiliki areal persawahan yang lebih sempit, karena penggunaan lahan di bagian selatan lebih didominasi oleh ladang dan kebun.

Faktor lain yang diduga menyebabkan variasi unsur nitrat adalah konfigurasi kondisi fisik alami di daerah penelitian. Berdasarkan informasi geologi Kabupaten Kulon Progo, terdapat tiga jenis formasi batuan di daerah penelitian, yaitu Formasi Sentolo, Endapan Gunung Api Merapi Muda, dan Koluvium (Yogyakarta, n.d.). Formasi Sentolo mayoritas berada di bagian selatan daerah penelitian. Bagian utara daerah penelitian mayoritas tersusun oleh Endapan Gunung Api Merapi Muda dan sebagian kecil tersusun oleh Koluvium. Material Endapan Gunung Api Merapi Muda bersifat porus dengan permeabilitas yang baik (Ratih et al., 2018). Transmisivitas Material Endapan Gunung Api Merapi Muda juga lebih baik jika dibandingkan dengan Formasi Sentolo (Ramadhika & Hendrayana, 2016). Berdasarkan perbandingan kondisi geologi di daerah penelitian, daerah penelitian bagian utara diduga memiliki permeabilitas yang lebih baik jika dibandingkan dengan bagian selatan.

Faktor fisik yang juga diduga berpengaruh terhadap variasi nitrat dalam air tanah bebas adalah kedalaman air tanah. Daerah penelitian secara keseluruhan terklasifikasi menjadi tiga kelas kedalaman air tanah, yaitu kurang dari 5 meter, 5

hingga 10 meter, dan lebih dari 10 meter (Ramadhika & Hendrayana, 2016). Angka nitrat di daerah yang air tanahnya dangkal cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan daerah yang air tanahnya dalam.

Kualitas Air Tanah Berdasarkan Parameter Nitrat

Hasil uji nitrat sampel air mengindikasikan bahwa air tanah di sebagian daerah penelitian telah terkontaminasi nitrat. Air tanah yang terkontaminasi nitrat terdapat di sebagian Desa Tanjungharjo, sebagian Desa Wijimulyo, sebagian Desa Donomulyo, sebagian Desa Jatisarono, dan sebagian Desa Kembang. Sampel-sampel air tanah di desa-desa tersebut (sampel nomor 1-5, 10, 33, 44-46, 50-57) mengandung nitrat di atas 10 mg/L atau melampaui nilai baku mutu air bersih, sedangkan sampel lainnya berada di bawah 10 mg/L dan masih memenuhi persyaratan air bersih berdasarkan parameter nitrat.

Kontaminasi air tanah oleh nitrat di sebagian Desa Tanjungharjo, sebagian Desa Wijimulyo, sebagian Desa Donomulyo, sebagian Desa Jatisarono, dan sebagian Desa Kembang disebabkan karena wilayah tersebut memiliki areal sawah irigasi paling luas dengan aktivitas pemupukan yang intensif. Material nitrat yang terdapat dalam pupuk terlindi melalui proses infiltrasi dan perkolasi hingga mencapai zona jenuh air tanah. Kontaminan yang berupa nitrat juga mudah mencapai zona jenuh air tanah karena material pada zona aerasi dan zona saturasi di sebagian Desa Tanjungharjo, sebagian Desa Wijimulyo, sebagian Desa Donomulyo, sebagian Desa Jatisarono, dan sebagian Desa Kembang didominasi oleh Material Endapan Gunung Api Merapi mudah yang permeabilitasnya baik. Kondisi tersebut menyebabkan proses infiltrasi dan perkolasi air menjadi lebih mudah, sehingga pelindihan nitrat hingga mencapai zona jenuh air tanah pun terjadi dengan mudah. Air tanah yang cenderung dangkal (kurang dari 5 meter) di sebagian Desa Tanjungharjo, sebagian Desa

Wijimulyo, sebagian Desa Donomulyo, sebagian Desa Jatisarono, dan sebagian Desa Kembang juga menyebabkan kontaminan nitrat lebih mudah mencapai zona jenuh air tanah karena jarak vertikal yang pendek antara sumber kontaminan dengan air tanah.

Kontaminasi air tanah oleh nitrat umumnya terjadi di sisi bagian daerah penelitian, sedangkan di sisi selatan, yaitu di Desa Banyuroto dan Desa Donomulyo tidak terjadi kontaminasi nitrat. Keadaan yang berbeda ini disebabkan oleh karena penggunaan lahan di bagian selatan daerah penelitian lebih didominasi oleh ladang dan kebun yang tidak menerima pemupukan secara intensif. Formasi Sentolo yang terdistribusi di bagian selatan daerah penelitian juga menjadi penghambat terkontaminasinya nitrat oleh pupuk karena Formasi Sentolo memiliki permeabilitas yang lebih rendah jika dibandingkan dengan Formasi Endapan Gunung Api Merapi Muda. Kondisi ini mempersulit proses pelindihan nitrat hingga mencapai zona jenuh air tanah. Air tanah yang cenderung dalam juga menjadi faktor yang menyebabkan angka nitrat di bagian selatan daerah penelitian cenderung lebih rendah.

Berdasarkan variasi nitrat di daerah penelitian, diketahui bahwa air tanah bagian utara daerah penelitian yang meliputi sebagian Desa Tanjungharjo, sebagian Desa Wijimulyo, sebagian Desa Donomulyo, sebagian Desa Jatisarono, dan sebagian Desa Kembang lebih berpotensi terkontaminasi karena aktivitas pertanian yang masif dan konfigurasi karakteristik alami lingkungan. Berdasarkan kondisi tersebut, bagian utara daerah penelitian dapat ditetapkan sebagai wilayah prioritas utama pengelolaan lingkungan untuk mencegah degradasi kualitas air tanah. Langkah-langkah pengelolaan lingkungan yang dapat diterapkan oleh instansi atau dinas terkait adalah pemantauan dan evaluasi nitrat air tanah secara berkala, sosialisasi kepada para petani mengenai pemupukan optimal, sosialisasi mengenai dampak pemupukan yang intensif terhadap air tanah, dan mengembangkan

penelitian mengenai remediasi air tanah yang telah terkontaminasi nitrat.

Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa nitrat air tanah di daerah penelitian bervariasi dan terdistribusi secara spasial. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa 41% air tanah di daerah penelitian telah terkontaminasi nitrat, meliputi sebagian Desa Tanjungharjo, sebagian Desa Wijimulyo, sebagian Desa Donomulyo, sebagian Desa Jatisarone, dan sebagian Desa Kembang. Air tanah yang tidak terkontaminasi nitrat sebesar 51% yang terdistribusi secara spasial di Desa Banyuroto dan sebagian besar Desa Donomulyo. Kontaminasi nitrat air tanah terjadi di sekitar area pertanian yang luas dengan pemupukan intensif. Konfigurasi material alami berupa Endapan Gunung Api Merapi Muda yang berpermeabilitas baik dan air tanah yang dangkal juga menjadi faktor yang menyebabkan kontaminasi nitrat di daerah penelitian. Untuk mengantisipasi degradasi kualitas air tanah perlu ditetapkan wilayah prioritas pengelolaan lingkungan di daerah penelitian. Bagian utara daerah penelitian dapat ditetapkan sebagai prioritas utama pengelolaan lingkungan dengan melakukan pemantauan kualitas air tanah secara berkala. Pemanataan nitrat secara berkala dapat diintegrasikan dengan kajian ilmiah mengenai pola spasial dan temporal nitrat air tanah saat musim hujan dan kemarau. Para petani juga perlu mendapatkan sosialisasi dan pelatihan mengenai teknik pemupukan yang baik dan dampak negatif penggunaan pupuk yang berlebihan terhadap kualitas air tanah. Sosialisasi dan pelatihan terhadap petani dapat diintegrasikan dengan kajian persepsi petani terhadap penggunaan pupuk dan dampak penggunaan pupuk terhadap air tanah. Kajian mengenai remediasi air tanah yang terkontaminasi nitrat juga perlu dilakukan sebagai upaya untuk memperbaiki kualitas air tanah.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada warga masyarakat Kecamatan Nanggulan, Kabupaten Kulon Progo yang telah bersedia memberikan izin pengumpulan data primer.

Referensi

- Alamne, S. B., Assefa, T. T., Belay, S. A., & Hussein, M. A. (2022). Mapping groundwater nitrate contaminant risk using the modified DRASTIC model: a case study in Ethiopia. *Environmental Systems Research*, *11*(1). <https://doi.org/10.1186/s40068-022-00253-9>
- Bijay-Singh, & Craswell, E. (2021). Fertilizers and nitrate pollution of surface and ground water: an increasingly pervasive global problem. *SN Applied Sciences*, *3*(4), 1–24. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04521-8>
- Dewi, S., Joko, T., & Dewanti, N. (2016). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Pencemaran Nitrat (No3) Pada Air Sumur Gali Di Kawasan Pertanian Desa Tumpukan Kecamatan Karangdowo Kabupaten Klaten. *Jurnal Kesehatan Masyarakat (e-Journal)*, *4*(5), 204–212.
- Dixon, C., & Leach, B. (2015). *Metode Pengambilan Sampel untuk Penelitian Geografi* (A. D. Martono, Ed.). Yogyakarta: Ombak.
- Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air*. Yogyakarta: Kanisius.
- Handayani, M., Rahayu, D. D., Azizah, F., Ikrila, I., Faradilla, I. T., Nabilah, R., & Sulistiyorini, D. (2022). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Kandungan Nitrat Pada Air Sumur Warga Kota Depok. *Jurnal Sanitasi Lingkungan*, *2*(1), 14–20. <https://doi.org/10.36086/jsl.v2i1.1143>
- Indonesia, K. K. R. (2017). *Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian Umum*. Pemerintah Republik Indonesia.
- Killpack, S. C., & Bucholz, D. (2022). Nitrogen in the

- Environment: Leaching. Retrieved January 13, 2023, from Extension: University of Missouri website:
<https://extension.missouri.edu/publications/wq262#:~:text=Nitrate is very mobile and easily leaches with water.,well as depth to groundwater.>
- Liu, J., Jiang, L. H., Zhang, C. J., Li, P., & Zhao, T. K. (2017). Nitrate-nitrogen contamination in groundwater: Spatiotemporal variation and driving factors under cropland in Shandong Province, China. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 82(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/82/1/012059>
- Longley, P. A., Goddchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographic Information Science and Systems*. New Jersey: John Willey and Son Inc.
- Muryanto, Suntoro, Gunawan, T., Setyono, P., Nurkholis, A., & Wijayanti, N. F. (2019). Distribution of nitrate household waste and groundwater flow direction around Code River, Yogyakarta, Indonesia. *Indonesian Journal of Geography*, 51(1), 54–61. <https://doi.org/10.22146/ijg.43420>
- Novianto, A., & Sejati, S. P. (2023). Analysis of Groundwater Potential Using Dynamic Discharge Method in Temon. *Jurnal Sains Informasi Geografis (J SIG)*, 6(1), 38–48.
- Pertapa. (2019). Pengendalian OPT di Jatisarono. Retrieved February 15, 2022, from <https://pertanian.kulonprogokab.go.id/detil/395/pengendalian-opt-di-jatisarono>
- Progo, B. K. K. (2022). *Kapanewon Nanggulan Dalam Angka 2021*. BPS Kabupaten Kulon Progo.
- Rahman, A., Mondal, N. C., & Tiwari, K. K. (2021). Anthropogenic nitrate in groundwater and its health risks in the view of background concentration in a semi arid area of Rajasthan, India. *Scientific Reports*, 11(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88600-1>
- Ramadhika, R., & Hendrayana, H. (2016). Prioritas pengelolaan zona konservasi air tanah di Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Teknik Geologi*, 1–20.
- Rath, S., Zamora-Re, M., Graham, W., Dukes, M., & Kaplan, D. (2021). Quantifying nitrate leaching to groundwater from a corn-peanut rotation under a variety of irrigation and nutrient management practices in the Suwannee River Basin, Florida. *Agricultural Water Management*, 246(December 2020), 106634. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106634>
- Ratih, S., Awanda, H. N., Saputra, A. C., & Ashari, A. (2018). Hidrogeomorfologi mataair kaki Vulkan Merapi bagian selatan. *Geomedia: Majalah Ilmiah Dan Informasi Kegeografian*, 16(1). <https://doi.org/10.21831/gm.v16i1.20977>
- Sejati, S. P. (2019). Perbandingan akurasi metode idw dan kriging dalam pemetaan muka air tanah. *Majalah Geografi Indonesia*, 33(2), 49–57. <https://doi.org/10.22146/mgi.41473>
- Sidiropoulos, P., Tziatzios, G., Vasiliades, L., Mylopoulos, N., & Loukas, A. (2019). Groundwater Nitrate Contamination Integrated Modeling for Climate and Water Resources Scenarios: The Case of Lake Karla Over-Exploited Aquifer. *Water*, 11(1201).
- Torfs, P. (2015). *A Global Assessment of Nitrate Contamination in Groundwater*.
- Vinod, P. N., Chandramouli, P. N., & Koch, M. (2015). Estimation of Nitrate Leaching in Groundwater in an Agriculturally Used Area in the State Karnataka, India, Using Existing Model and GIS. *Aquatic Procedia*, 4(1cwrcoe), 1047–1053. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.132>
- Xu, S., Wei, Y., Laghari, A. H., Yang, X., & Wang, T. (2021). Modelling effect of different irrigation methods on spring maize yield, water and nitrogen use efficiencies in the

- North China Plain. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 18(6), 9651–9668. <https://doi.org/https://doi.org/10.3934/mbe.2021472>
- Yogyakarta, B. P. B. D. P. D. I. (n.d.). *Peta Geologi Kabupaten Kulon Progo*.
- Yunus, H. S. (2009). *Metodologi Penelitian Wilayah Kontemporer*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Zendehbad, M., Mostaghelchi, M., Mojganfar, M., Cepuder, P., & Loiskandl, W. (2022). Nitrate in groundwater and agricultural products: intake and risk assessment in northeastern Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(52), 78603–78619. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20831-9>