



Pengaruh Kondisi Hidrogeologi Terhadap Standar Baku Mutu Garam di Kecamatan Mirit, Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah

The Influence of Hydrogeological Conditions on Salt Quality Standards in Mirit District, Kebumen Regency, Central Java

Septyo Uji Pratomo^{1*}, Thema Arrisaldi², Ra Mauldy Pabhayita Noval³, Nandra Eko Nugroho⁴, Gregorius Oktaviano Purnama Dewa⁵

¹ Teknik Geologi Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta, Jl. Padjadjaran No.104, Condongcatur, Sleman, Yogyakarta 55283

² Teknik Lingkungan Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta, Jl. Padjadjaran No.104, Condongcatur, Sleman, Yogyakarta 55283

*Corresponding Author: septyo.uji@upnyk.ac.id

Article Info:

Received: 02-03-2023

Accepted: 30-09-2023

Kata kunci: Hidrogeologi, Standar Baku Mutu Garam, Mirit, Kebumen

Abstrak: Garam (NaCl), yang juga dikenal sebagai halit, memiliki peran penting sebagai bahan pokok dalam kehidupan manusia dan industri. Kabupaten Kebumen di Jawa Tengah, khususnya di sepanjang pantai selatan di Kecamatan Mirit, berasal dari tambak garam berbentuk kubah-kubah memanjang menjadi sumber utama produksi garam di wilayah tersebut. Standar baku mutu garam diatur oleh SNI 3556:2016, memberikan batasan cemaran logam seperti kadmium (Cd) <0,5 mg/kg, timbal (Pb) <10 mg/kg, raksa (Hg) <0,1 mg/kg, dan arsen (As) <0,1 mg/kg. Kondisi air laut dan air tanah yang digunakan dalam proses produksi garam memiliki dampak signifikan terhadap kualitas garam yang dihasilkan yang dapat diketahui dari studi hidrogeologi. Hasil pengukuran sumur warga sejumlah 43 titik menunjukkan kedalaman muka airtanah berkisar antara 2,65 m s.d. 17,35 m. Hasil analisis garam dari 2 tambak garam yang berbeda menunjukkan kadar Cd berkisar antara 0,1077—0,1113 mg/kg, Pb antara 0,929—1,0267 mg/kg, Hg antara 0,00603—0,01358 mg/kg, dan kadar As negatif; dengan kadar air berkisar antara 1,44—3,57% b/b serta kandungan NaCl antara 99,41—99,93%. Hasil analisis air sumur dan air laut dari 3 sampel menunjukkan kadar Cd <0,0009 mg/kg, Pb <0,0011—0,0098 mg/kg, Hg <0,0001 mg/kg, dan As <0,001 mg/kg. Hasil pemetaan muka airtanah menunjukkan bahwa kondisi hidrogeologi memengaruhi standar baku mutu garam di pesisir selatan Kebumen, terutama oleh faktor besar ukuran butir yang membawa airtanah beserta unsur-unsur terlarut di dalamnya. Sementara itu, garam yang diproduksi dari 2 tambak garam di Kecamatan Mirit memenuhi standar baku mutu berdasarkan SNI 3556:2016.

Keywords: Hidrogeology, Salt Quality Standard, Mirit, Kebumen.

Abstract: Salt (NaCl), also known as halite, is an essential staple in human life and industry. Kebumen Regency in Central Java, especially along the south coast in Mirit District, is one of the largest salt-producing areas in Indonesia, originating from salt ponds in the shape of elongated domes, which are the primary source of salt production in the region. Salt quality standards are regulated by SNI 3556: 2016, providing limits for metal contamination such as cadmium (Cd) <0.5 mg/kg, lead (Pb) <10 mg/kg, mercury (Hg) <0.1 mg/kg, and arsenic (As) <0.1 mg/kg. The condition of seawater and groundwater used in the salt production process significantly impacts the quality of the salt produced, which can be known from hydrogeological studies. The measurements of community wells at several 43 points indicate that the depth of the groundwater table ranges from 2.65 m to 17.35 m. The results of salt analysis from 2 different salt ponds showed Cd levels ranging from 0.1077-0.1113 mg/kg, Pb between 0.929-1.0267 mg/kg, Hg between 0.00603-0.01358 mg/kg, within negative As levels; with water content ranging from 1.44-3.57% w/w and NaCl content ranging from 99.41-99.93%. The well water and seawater analysis from 3 samples showed Cd <0.0009 mg/kg, Pb <0.0011—0.0098 mg/kg, <0.0001 mg/kg, and As <0.001 mg/kg. The groundwater table mapping results show that hydrogeological conditions affect salt quality standards on the south coast of Kebumen, especially by the grain size factor that carries groundwater and the elements dissolved in it. Meanwhile, salt produced from 2 salt ponds in Mirit Districts meets quality standards based on SNI 3556:2016.

1. Pendahuluan

Halit (NaCl), kristal berbentuk kubik atau isometrik yang dikenal sehari-hari sebagai garam, merupakan salah satu bahan pokok yang penting bagi kehidupan manusia dan industri. (Speranza et al., 2013) dan (Moroni et al., 2019) menjelaskan bahwa keberadaan unsur-unsur utama dalam inklusi cairan halit yang bersamaan dengan keberadaan mineral tertentu, menunjukkan bahwa komponen penyusun utama garam sebagian besar berasal dari air laut, salah satunya terbentuk melalui sistem penguapan. Hal ini terkait erat dengan penelitian (Möller et al., 2017), yang membahas cara air garam halit dan batuan beku/metamorf berinteraksi secara kimia, menyoroti bahwa halit memegang peran kunci dalam memengaruhi komposisi cairan yang membentuk garam.

Salah satu daerah penghasil garam terbesar di Indonesia adalah Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah, khususnya di sepanjang pantai selatan yang bertempat di Kecamatan Mirit (Q. Zhang, 2021). Tambak garam yang berbentuk kubah-kubah memanjang menjadi salah satu sumber utama produksi garam di daerah tersebut. Untuk memastikan kualitas dan keamanan produk garam yang dihasilkan, diberlakukan standar baku mutu garam yang merupakan spesifikasi yang menentukan kualitas produk garam yang diperbolehkan untuk dipasarkan. Standar baku mutu garam di Indonesia diatur dalam SNI 3556:2016 yang menyebutkan bahwa cemaran logam dalam garam tidak boleh lebih dari angka yang disebutkan: kadmium (Cd) <0,5 mg/kg, timbal (Pb) <10 mg/kg, raksa (Hg) <0,1 mg/kg, dan arsen (As) <0,1 mg/kg.

Kualitas air laut yang digunakan sebagai sumber utama dalam proses produksi garam sangat berpengaruh terhadap kualitas garam yang dihasilkan. Sebagai ilmu yang mempelajari penyebaran dan pergerakan air tanah dalam tanah dan batuan di kerak bumi (umumnya dalam akuifer), hidrogeologi juga memiliki keterkaitan dengan air permukaan lainnya, salah satunya air laut yang menjadi sumber utama proses produksi garam. Penelitian yang dilakukan oleh (Ashilah et al., 2022), mengkaji bahwa bahwa produksi garam pada salah satu daerah di Kabupaten Rembang sangat dipengaruhi oleh faktor hidrologi, khususnya curah hujan. Air yang digunakan dalam proses produksi garam harus memenuhi kriteria kualitas air yang telah ditentukan, seperti tingkat salinitas, kandungan mineral, dan kandungan logam berat seperti disebutkan di atas (Chen, 2022; He, 2019). Jika air yang digunakan tidak memenuhi kriteria tersebut, maka akan berpengaruh pada kualitas garam yang dihasilkan. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa produk garam yang dihasilkan memenuhi standar baku mutu garam yang ditentukan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji standar baku mutu garam di tambak garam di pantai selatan Kabupaten Kebumen, khususnya di Kecamatan Mirit dan mengkaji keterkaitannya dengan kondisi hidrogeologi di daerah penelitian, selain pengaruh faktor curah hujan yang telah dikaji melalui penelitian terdahulu. Pendekatan metode penelitian antara lain: pemetaan hidrogeologi, analisis kimia air, dan analisis kimia garam diharapkan dapat mencapai tujuan utama dari penelitian ini (F. Zhang, 2022). Diharapkan, penelitian dapat memberikan manfaat yaitu untuk memastikan produk garam yang dihasilkan oleh tambak garam di pantai selatan Kabupaten Kebumen memenuhi standar baku mutu dan terpenuhinya kualitas serta keamanan bagi masyarakat dan industri berdasarkan kajian hidrogeologi di lapangan (Krasnyukova, 2021; Liang, 2019).

2. Metode Penelitian

Metode Pengambilan Data

Metode penelitian yang dipergunakan untuk melakukan penelitian ini yaitu: pemetaan hidrogeologi di lapangan dengan melakukan pengukuran kedalaman sumur warga secara sistematis dengan jarak (grid) per 500 meter (Gambar 1a); pengambilan sampel air sumur warga di sekitar tambak garam (Gambar 1b); pengambilan sampel air laut yang digunakan sebagai bahan baku garam (Gambar 1c); pengambilan sampel garam pada tambak garam (Gambar 1d); dan analisis kimia dari sampel-sampel tersebut untuk menentukan kadar unsur yang tercantum dalam SNI: kadmium (Cd), timbal (Pb), raksa (Hg), dan arsen (As); serta integrasi dan analisis dari data hidrogeologi dan standar baku mutu garam.

Metode Analisis Data

Dari data pengukuran kedalaman sumur warga secara sistematis dengan jarak (grid) per 500 meter, kemudian diolah dengan metode interpolasi Kriging untuk membuat peta kontur airtanah (lihat Gambar 5). Sampel garam dan air yang akan dianalisis secara kimia untuk mengetahui kadar unsur logam berat dilaksanakan di: Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu Universitas Gadjah Mada Yogyakarta (LPPT-UGM) (analisis sampel garam dengan metode AAS (atomic absorption spectroscopy) untuk kadar logam berat, gravimetri untuk kadar air, analisator merkuri untuk kadar Hg, dan konduktometri untuk kadar NaCl), Balai Laboratorium Kesehatan dan Kalibrasi Dinas Kesehatan Provinsi DIY (analisis sampel air dengan metode AAS, analisator merkuri untuk kadar Hg), dan Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit Provinsi DIY (analisis sampel air dengan metode AAS, analisator merkuri untuk kadar Hg). Keseluruhan data kemudian dianalisis dan dibuat interpretasi untuk mengetahui adakah pengaruh kondisi hidrogeologi terhadap standar baku mutu garam di Kecamatan Mirit, Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah

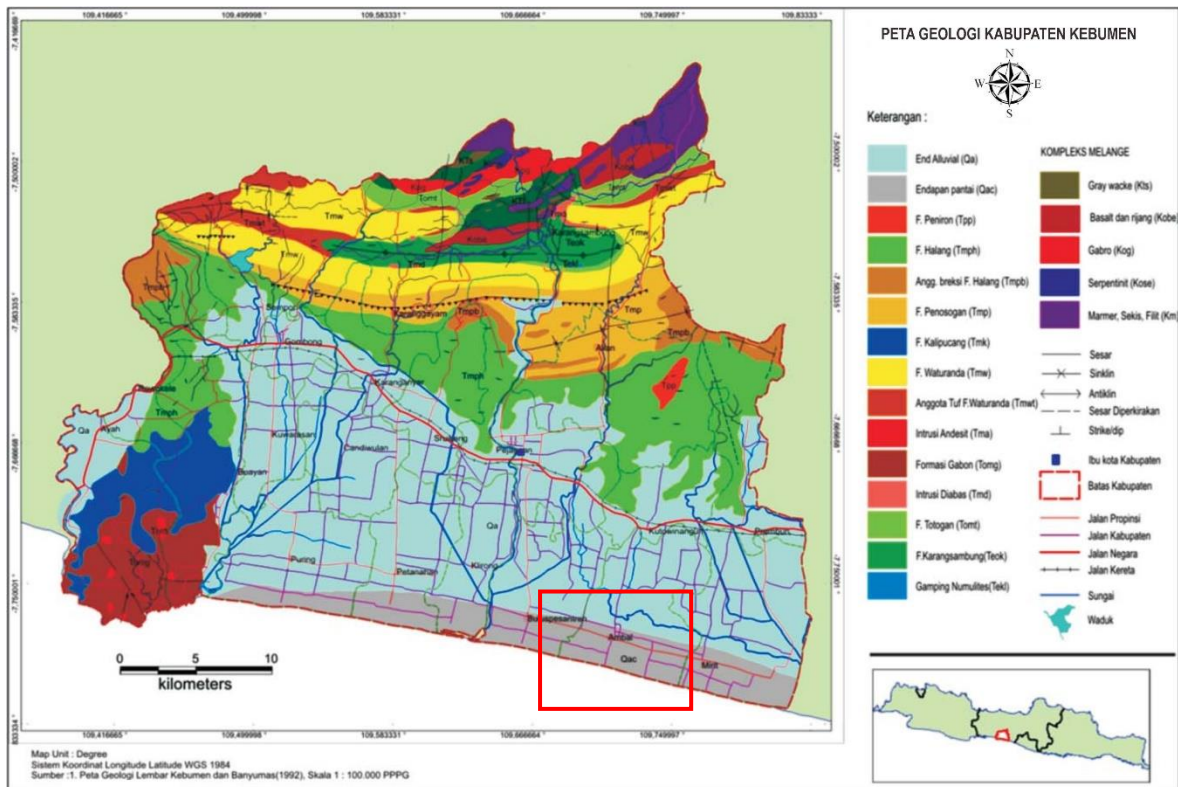


Gambar 1. Pengambilan data lapangan di daerah penelitian. a. Pengukuran kedalaman sumur warga dengan menggunakan meteran ukur. b. Pengambilan sampel air sumur warga. c. Pengambilan sampel air laut dari salah satu *tunnel* yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan garam. d. Pengambilan sampel garam pada salah satu *tunnel* garam.

Geologi dan Hidrogeologi Regional Kebumen Bagian Selatan

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Kebumen (Asikin et al., 1992) menyebutkan bahwa bagian selatan Kabupaten Kebumen termasuk ke dalam Aluvial (Qa) dan Endapan Pantai (Qac) berumur Kuarter yang terdiri dari lempung, lanau, pasir, kerikil dan kerakal (Qa) dan pasir lepas yang terpilah baik-sedang (Qac) (Gambar 2).

Ditinjau dari segi kondisi hidrogeologi, Pesisir Kebumen termasuk dalam wilayah Cekungan Airtanah (CAT) Kebumen-Purworejo. CAT ini berbatasan dengan CAT Wates di sebelah timur, CAT Banyumudal di sebelah barat, Samudra Hindia di sebelah selatan, dan wilayah non-akuifer di sebelah utara. Menurut (Setiadi, 2003), CAT Kebumen-Purworejo hanya memiliki satu lapisan akuifer yang berupa akuifer bebas dengan debit 130 juta m³/tahun (Yousif, 2019).



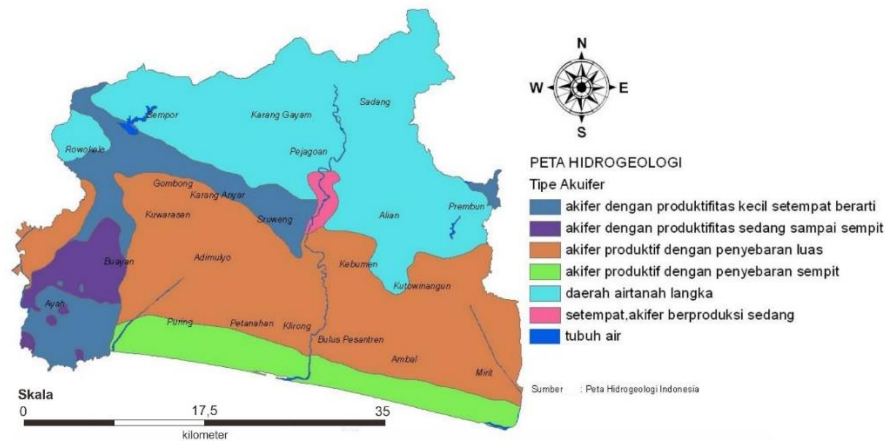
Gambar 2. Peta Geologi Kabupaten Kebumen (modifikasi dari Asikin dkk., 1992). Daerah penelitian ditunjukkan oleh kotak berwarna merah.

Wilayah dengan akuifer produktif yang penyebarannya sedang sampai sempit dikelilingi oleh wilayah dengan akuifer yang produktivitasnya rendah di sebagian Kecamatan Buayan. Luasan akuifer produktif dengan penyebaran luas dan sempit terbesar terdapat di bagian tengah hingga selatan Kabupaten Kebumen (Choe, 2018). Penyebaran akuifer produktif yang sempit berada di daerah pesisir dengan bentuk lahan marin hingga fluvio-marin, sementara akuifer produktif dengan penyebaran luas terdapat di wilayah dengan tingkat pemukiman padat dan datar. Penyebaran akuifer produktif semakin menyempit ke arah selatan atau menuju laut (Davybida, 2018).

Wilayah Kabupaten Kebumen pada dasarnya memiliki akuifer yang produktif meskipun dengan intensitas yang bervariasi, mulai dari setempat hingga penyebaran yang luas. Berdasarkan Peta Hidrogeologi Indonesia, seperti tercantum pada Tabel 1 dan Gambar 3, sebagian Kecamatan Sempor, Karanggayam, Karangasambung, Sadang, dan Padureso yang merupakan wilayah berbukit, termasuk ke dalam kondisi airtanah langka (Klyuev, 2021). Sementara itu, akuifer dengan produktivitas kecil hanya ditemukan di sebagian kecil Kecamatan Padureso, Gombong, Sruweng, Karanganyar, Rowokele, dan Kecamatan Ayah.

Tabel 1. Kondisi Hidrogeologi Kabupaten Kebumen (ESDM, 1988)

No.	Akuifer	Luas (ha)
1	Produktivitas kecil setempat berarti	16.113,17
2	Produktivitas sedang sampai sempit	5.399,74
3	Produktif dengan penyebaran luas	50.346,97
4	Produktif dengan penyebaran sempit	11.995,29
5	Daerah air tanah langka	46.905,78
6	Setempat, akuifer berproduksi sedang	1.188,69



Gambar 3. Peta Hidrogeologi Kabupaten Kebumen (*Peta Hidrogeologi Indonesia, 1988*)

3. Hasil dan Pembahasan

Kondisi Hidrogeologi

Area penelitian ini mencakup sepanjang 11 desa di Kecamatan Mirit: Miritpetikusan, Tlogodepok, Mirit, Tlogopragoto, Selotumpeng, Sitibenar, Blengor Wetan, Karanggede, Kertodeso, Patukrejomulyo, and Mangunranan (lihat Gambar 4). Terdapat 43 sumur gali yang dimiliki oleh penduduk di area penelitian yang menjadi salah satu fokus penelitian. Sumur tersebut diambil dengan jarak (*grid*) per 500 meter. Untuk mengukur elevasi muka air tanah, perhitungan dilakukan dengan menghitung perbedaan ketinggian antara permukaan tanah dan kedalaman muka air tanah menggunakan persamaan berikut (Amah & Agbebia, 2015):

$$El. MAT = El. MT + h - SWL; \text{ dengan:}$$

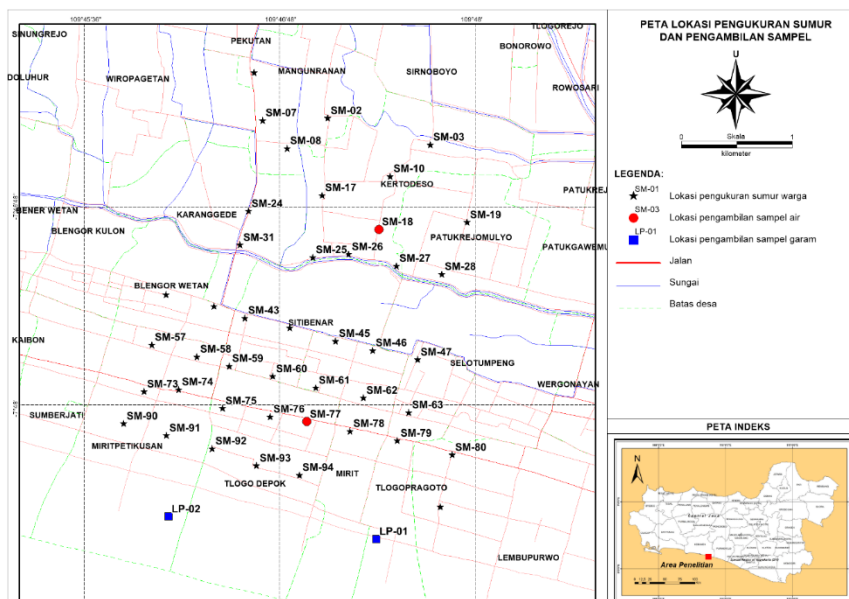
El.MAT adalah elevasi muka air tanah,
El.MT adalah elevasi muka tanah,
h adalah ketinggian bibir sumur (dalam meter),
SWL adalah kedalaman muka air sumur (dalam meter).

Informasi mengenai koordinat lokasi penelitian dan perhitungan kedalaman muka air tanah di lokasi penelitian dapat ditemukan dalam Tabel 2. Dari data tersebut, kemudian diolah dengan metode interpolasi Kriging untuk membuat peta kontur airtanah di daerah penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 5.

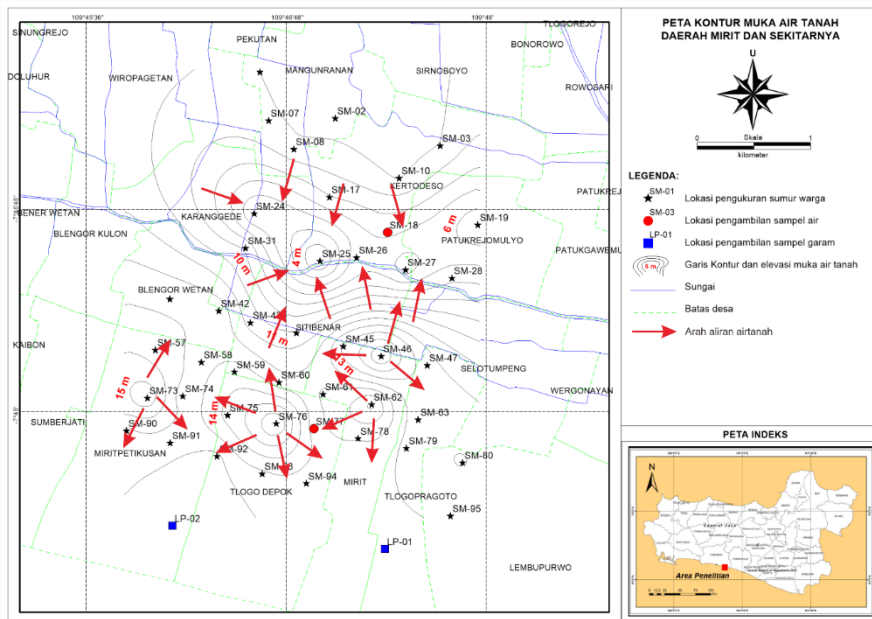
Tabel 2. Lokasi Pengukuran Sumur dan Kedalaman Muka Air Tanah Di Lokasi Penelitian

No.Sumur	Sistem Koordinat: UTM WGS84, zona 49S			h (m)	SWL (m)	El.MAT (m)
	Bujur	Lintang	El.MT (m)			
SM-01	365181	9141338	12	0,8	2,8	10
SM-02	366014	9140832	12	0,8	2,55	10,25
SM-03	367171	9140537	13	0,6	3,6	10
SM-07	365280	9140803	12	0,7	2,9	9,8
SM-08	365557	9140492	12	0,7	2,9	9,8
SM-10	366721	9140181	13	0,75	3,6	10,15
SM-17	365953	9139968	11	0,5	3,5	8
SM-18	366595	9139585	10	0,8	3,5	7,3
SM-19	367590	9139670	8	0,75	3,6	5,15
SM-24	365122	9139788	7	0,5	2,7	4,8
SM-25	365850	9139270	6	0,75	4,1	2,65
SM-26	366254	9139308	10	0,8	4,25	6,55

SM-27	366794	9139177	9	0,8	4,45	5,35
SM-28	367306	9139087	11	0,8	4	7,8
SM-31	365028	9139407	12	0,8	3,8	9
SM-41	364193	9138848	17	0,9	5,2	12,7
SM-42	364735	9138721	16	0,7	3,95	12,75
SM-43	365087	9138589	14	0,6	4,05	10,55
SM-44	365592	9138482	14	0,8	4,8	10
SM-45	366110	9138334	17	0,75	3,5	14,25
SM-46	366528	9138230	20	0,75	3,5	17,25
SM-47	367037	9138129	16	0,75	3,3	13,45
SM-57	364036	9138287	17	0,7	4,2	13,5
SM-58	364546	9138154	16	0,75	4,1	12,65
SM-59	364908	9138051	17	0,8	4,25	13,55
SM-60	365403	9137938	16	0,8	4,45	12,35
SM-61	365886	9137809	15	0,8	4	11,8
SM-62	366424	9137700	13	0,75	4,25	9,5
SM-63	366939	9137535	17	0,75	4,1	13,65
SM-73	363948	9137763	19	0,8	3,8	16
SM-74	364342	9137786	16	0,85	4,5	12,35
SM-75	364836	9137578	17	0,8	3,4	14,4
SM-76	365374	9137485	21	0,75	4,4	17,35
SM-77	365788	9137432	16	0,7	4,2	12,5
SM-78	366277	9137326	16	0,6	4,6	12
SM-79	366810	9137222	17	0,7	4,4	13,3
SM-80	367428	9137064	18	0,5	4,4	14,1
SM-90	363720	9137404	16	0,9	4,2	12,7
SM-91	364201	9137272	16	0,7	4,3	12,4
SM-92	364721	9137126	16	0,9	5,2	11,7
SM-93	365221	9136936	16	0,7	3,95	12,75
SM-94	365706	9136832	16	0,6	4,05	12,55
SM-95	367297	9136479	17	0,8	4,8	13



Gambar 4. Peta Lokasi Pengukuran Sumur Warga dan Pengambilan Sampel di Daerah Penelitian



Gambar 5. Peta Kontur dan Pola Pengaliran Muka Air Tanah di Daerah Penelitian

Hasil Analisis Kimia Garam dan Air

Hasil analisis kimia pada sampel garam dan air untuk mengetahui kadar logam berat ditunjukkan oleh Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Hasil Analisis Sampel Garam

Kode Sampel	Kadar air (b/b) (%)	NaCl (%)	Hg (mg/kg)	As (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)
LP-01	3,57	99,41	0,01358	negatif	1,0267	0,1113
LP-02	1,44	99,93	0,00603	negatif	0,929	0,1077

Dari Tabel 2, dapat diketahui bahwa ketinggian permukaan tanah di area penelitian bervariasi antara +6 mdpl hingga +21 mdpl. Sementara itu, tinggi muka air tanah di lokasi penelitian berkisar antara +2,65 m dpl hingga +17,35 m dpl. Tinggi muka tanah dan muka airtanah tertinggi berada di bagian selatan area penelitian, yaitu Desa Tlogodepok di SM-76. Sementara itu, tinggi muka tanah dan muka air tanah terendah terdapat di Desa Kertodeso pada SM-25 (Novikov, 2021). Informasi mengenai jalur pergerakan air tanah diperoleh melalui pembuatan peta kontur aliran air tanah. Saat air tanah mengalir, terbentuk suatu pola pergerakan yang sesuai dengan bentuk kontur muka air tanahnya. Pola pergerakan air tanah selalu dimulai dari daerah tertinggi dan mengalir ke daerah dengan ketinggian lebih rendah, dipengaruhi oleh gaya tarik gravitasi (Saldanela et al., 2015). Gambaran pola aliran air tanah diilustrasikan oleh pergerakan air dari kontur yang lebih tinggi ke kontur yang lebih rendah. Gambar 4 menunjukkan hasil interpolasi data muka air tanah dengan metode Kriging, yang disajikan dalam peta kontur muka air tanah beserta pola pengaliran air tanah di daerah penelitian.

Tabel 4. Hasil Analisis Sampel Air

Kode Sampel	As (mg/L)	Cd (mg/L)	Hg (mg/L)	Pb (mg/L)
LP-01 (air laut)	<0,001	<0,0008	<0,0001	0,0098
SM-18 (air sumur)	<0,001	<0,0009	<0,0001	<0,0011
SM-77 (air sumur)	<0,001	<0,0009	<0,0001	<0,0011

Hubungan antara Kondisi Hidrogeologi dan Hasil Analisis Kimia Garam dan Air

Kondisi hidrogeologi pada daerah penelitian, dari Gambar 4, menunjukkan bahwa aliran pola pengaliran airtanah secara umum terbagi menjadi 2: pola pengaliran yang terkonsentrasi di bagian utara, dengan pola aliran relatif utara-selatan dan selatan-utara menuju sungai yang memanjang dari barat ke timur; dan pola pengaliran yang terkonsentrasi di bagian selatan, dengan pola aliran relatif utara-selatan menuju ke laut dan sebagian relatif Selatan-utara menuju sungai (Bourgault, 2019). Dari

pola pengaliran tersebut dapat diketahui bahwa sampel air laut yang diambil di titik LP-01 dipengaruhi oleh pola pengaliran airtanah yang mengarah menuju selatan. Standar baku mutu garam yang ditetapkan oleh SNI 3556:2016 adalah sebagai berikut:

Tabel 5. Syarat mutu garam konsumsi beryodium (SNI 3556:2016) (*Syarat Mutu Garam Konsumsi Beryodium*, 2016)

No.	Parameter Uji	Satuan	Persyaratan
1	Kadar air	Fraksi massa %*	Maksimal 7
2	Kadar NaCl adbk**	Fraksi massa %*	Minimal 94
3	Cemaran logam:	mg/kg	
3.1	Kadmium (Cd)	mg/kg	Maksimal 0,5
3.2	Timbal (Pb)	mg/kg	Maksimal 10
3.3	Raksa (Hg)	mg/kg	Maksimal 0,1
4	Arsen (As)	mg/kg	Maksimal 0,1

* Fraksi massa adalah bobot/bobot

** Adbk adalah atas dasar bahan kering

Dari pencocokan antara Tabel 3 dan Tabel 5 di atas, dapat diketahui bahwa secara baku mutu, garam di daerah Mirit dari kedua *tunnel* garam memenuhi standar SNI, mulai dari parameter kadar air, kadar NaCl, dan cemaran logam berat (Cd, Pb, Hg, dan As). Meskipun masih berada di bawah ambang batas, terdapat peningkatan kadar logam berat secara relatif pada unsur Cd, Pb, dan Hg pada air tanah dari hulu menuju ke hilir. Kandungan logam berat dalam suatu perairan dapat menjadi rendah karena adanya proses resuspensi (Maslukah, 2013). Akibatnya, logam berat yang terdapat dalam sedimen akan terlepas ke dalam kolom perairan. Kelimpahan mineral kuarsa (SiO₂) dalam sedimen, terutama dalam komposisi butiran yang menyusun formasi Aluvium (Qa) di bagian hulu (terdiri dari lempung, lanau, pasir, kerikil dan kerakal) (Asikin dkk., 1992), memiliki butiran besar dan kapasitas adsorpsi yang rendah sehingga berkontribusi pada pelepasan logam berat dari sedimen (Roussiez et al., 2005). Sebaliknya, butiran halus dan keberadaan mineral lempung dengan luas permukaan yang besar dapat menyebabkan adsorpsi logam berat yang kuat, mengikatnya pada sedimen, sesuai dengan kondisi geologi di bagian hilir, berupa Endapan Pantai (Qac) di bagian hilir yang terdiri dari pasir lepas yang terpilah baik-sedang (Asikin dkk., 1992). Semakin halus permukaan suatu partikel, semakin besar luas permukaannya, yang berdampak pada reaksi tumbukan dengan senyawa-senyawa dalam sedimen (Suarsa, 2017).

Partikel berukuran pasir tidak dapat mengunci satu sama lain, sehingga pori makro yang berfungsi sebagai jalur air dan udara dapat dengan mudah mengalirkan air (Hakim et al., 1986; Soniari, 2016), terutama di daerah penelitian dengan kondisi material yang lepas-lepas (*unconsolidated*). Tekstur tanah atau sedimen yang lebih kasar akan memiliki distribusi pori makro yang lebih besar, membuatnya lebih porus dan memiliki kemampuan menahan air yang lebih kecil. Logam berat yang terbawa oleh air, seperti Kadmium (Cd⁺), Merkuri (Hg²⁺), dan Timbal (Pb²⁺), dan Arsen (As²⁺) dapat dengan mudah melewati partikel berukuran besar, tetapi akan terperangkap dalam partikel yang lebih halus (Soniari, 2016). Sedimen yang berukuran halus (<0,0063 mm atau 63 μm) termasuk dalam kategori lanau atau liat. Lanau dan liat berfungsi sebagai penyaring polutan baik yang bersifat anorganik maupun organik. Penyerapan polutan oleh sedimen halus (63 μm) efektif dalam berbagai kondisi pH air, termasuk pH netral atau asam, serta dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti kandungan bahan organik, Fe, Mn-Oksida, dan mineral lempung (Kraklik, 1998). Luas permukaan partikel yang besar sangat efektif dalam mengadsorpsi molekul dan kation, sehingga molekul akan mengelilingi permukaan sedimen yang halus atau berukuran liat. Liat umumnya memiliki muatan negatif, sehingga kation yang bersifat positif dapat dengan mudah terikat pada sedimen tersebut (Soniari, 2016). Kontribusi atau penyebaran ukuran partikel sedimen dalam peningkatan konsentrasi logam berat bisa mencapai lebih dari 80%, dan logam berat biasanya akan terkonsentrasi atau terperangkap dalam sedimen berukuran sangat halus (<63 μm) (Ridha et al., 2019). Oleh karena itu, sangat mungkin terjadi apabila terdapat peningkatan unsur logam berat di daerah penelitian, meskipun masih dalam ambang batas aman, karena faktor besar butir sedimen yang relatif mengecil dari bagian hulu menuju hilir yang menjadi jalur lewatnya airtanah, yang juga memengaruhi peningkatan konsentrasi logam berat.

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. Kondisi hidrogeologi di daerah penelitian memiliki kedalaman muka airtanah berkisar antara 2,65 m s.d. 17,35 m, dengan pola pengaliran airtanah yang terbagi menjadi dua: di bagian utara dengan pola pengaliran menuju sungai, dan bagian selatan daerah penelitian dengan pola

pengaliran menuju laut.

- b. Hasil analisis garam dari 2 tambak garam yang berbeda menunjukkan kadar Cd berkisar antara 0,1077—0,1113 mg/kg, Pb antara 0,929—1,0267 mg/kg, Hg antara 0,00603—0,01358 mg/kg, dan kadar As negatif; dengan kadar air berkisar antara 1,44—3,57% b/b serta kandungan NaCl antara 99,41—99,93%. Hasil analisis air sumur dan air laut dari 3 sampel menunjukkan kadar Cd <0,0009 mg/kg, Pb <0,0011—0,0098 mg/kg, Hg <0,0001 mg/kg, dan As <0,001 mg/kg.
- c. Kondisi hidrogeologi memengaruhi standar baku mutu garam di daerah kecamatan Mirit, kabupaten Kebumen, terutama dalam faktor pola pengaliran airtanah dan distribusi ukuran butir yang erat kaitannya dengan peningkatan konsentrasi logam berat, meskipun masih dalam ambang batas aman. Sementara itu, garam yang diproduksi dari 2 tambak garam di Kecamatan Mirit memenuhi standar baku mutu berdasarkan SNI 3556:2016.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih penulis sampaikan kepada seluruh pihak yang terlibat, khususnya kepada LPPM Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta, terutama atas dukungan dan pendanaan melalui kegiatan Penelitian Dosen Pemula tahun 2023..

Daftar Pustaka

- Amah, E. A., & Agbebia, M. A. (2015). Determination of Groundwater Flow Direction In Ekintae Limestone Quarry Near Mfamosing South-Eastern, Nigeria. *International Journal of Geology, Agriculture and Environmental Sciences*, 6(3), 1–5.
- Ashilah, A. A., Wirasatriya, A., & Handoyo, G. (2022). Analisis Dampak Perubahan Cuaca Terhadap Kualitas dan Produksi Garam di Kabupaten Rembang. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(2), 68–76. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v4i2.14006>
- Asikin, S., Handoyo, A., Busono, H., & Gafoer, S. (1992). *Peta Geologi Lembar Kebumen, Jawa Tengah*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Bourgault, M. A. (2019). How do hydrogeological setting and meteorological conditions influence water table depth and fluctuations in ombrotrophic peatlands? *Journal of Hydrology X*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2019.100032>
- Chen, Z. (2022). Optimization schemes for deep foundation pit dewatering under complicated hydrogeological conditions using MODFLOW-USG. *Engineering Geology*, 303. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2022.106653>
- Choe, T. (2018). Method of simulation and estimation of SCW system considering hydrogeological conditions of aquifer. *Energy and Buildings*, 163, 140–148. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.058>
- Davybida, L. (2018). Hydrogeological conditions and natural factors forming the regime of groundwater levels in the Ivano-Frankivsk Region (Ukraine). *Journal of Ecological Engineering*, 19(6), 34–44. <https://doi.org/10.12911/22998993/91883>
- Hakim, N., Nyakpa, M. Y., Lubis, A. M., Nugroho, S. G., Diha, M. A., Hong, G. B., & Bailey, H. H. (1986). *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Universitas Lampung Press.
- He, B. (2019). Effect of hydrogeological conditions and surface loads on shallow groundwater nitrate pollution in the Shaying River Basin: Based on least squares surface fitting model. *Water Research*, 163. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.114880>
- Klyuev, R. V. (2021). Comprehensive assessment of hydrogeological conditions for formation of mineral water resources of the nizhne-karmadon deposit. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering*, 332(8), 206–218. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/8/3319>
- Kraklik, M. (1998). A Rapid Procedure For Environmental Sampling And Evaluation Of Polluted Sediments. *Applied Geochemistry*, 14, 807–816.
- Krasyukova, E. (2021). A rational approach to the management of underground mining in complex hydrogeological and geomechanical conditions based on a risk assessment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 684(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/684/1/012006>
- Liang, Y. (2019). Recognition of the critical hydrogeological conditions of the Jinci Spring and Lancun Spring in Shanxi. *Hydrogeology and Engineering Geology*, 46(1). <https://doi.org/10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.2019.01.02>
- Maslukah, L. (2013). Hubungan antara Konsentrasi Logam Berat Pb, Cd, Cu, Zn dengan Bahan Organik dan Ukuran Butir dalam Sedimen di Estuari Banjir Kanal Barat, Semarang. *Buletin Oseanografi Marina*, 2, 55–62.
- Möller, P., Lüders, V., & Lucia, M. (2017). Formation of rotliedend ca-cl brines in the north german basin compared to analogues in the geological record. *Chemical Geology*, 459, 32–42. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2017.04.001>

- Moroni, M., Rossetti, P., Naitza, S., Magnani, L., Ruggieri, G., Aquino, A., & Secchi, F. (2019). Factors controlling hydrothermal nickel and cobalt mineralization—some suggestions from historical ore deposits in Italy. *Minerals*, 9(7), 429. <https://doi.org/10.3390/min9070429>
- Novikov, D. A. (2021). Hydrogeological conditions and hydrogeochemistry of radon waters in the Zaeltsovsky–Mochishche zone of Novosibirsk, Russia. *Environmental Earth Sciences*, 80(6). <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09486-w>
- Peta Hidrogeologi Indonesia*. (1988). DGTL Dep. ESDM, Jakarta.
- Ridha, M., Ernawati, R., & Cahyadi, T. A. (2019). Jejak dan Faktor Pengontrol Keterdapatannya Logam Berat (Heavy metal) di dalam Sedimen. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri Dan Informasi XIV Tahun 2019 (ReTII)*, 78–83.
- Roussiez, V., Ludwig, W., Probst, J. L., & Moncao, A. (2005). Background levels of Heavy metals in surficial sediments of the Gulf of Lions (NW Mediterranean): An approach based on ¹³³Cs normalization and lead isotope measurements. *Journal Environmental Pollution*, 138, 167–177.
- Saldanella, Sutikno, S., & Hendri, A. (2015). Pemetaan Pola Aliran Air Tanah Berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) di Kawasan Kecamatan Tampan Kota Pekanbaru. *Jom Fteknik*, 2(1), 1–8.
- Setiadi, H. (2003). *Peta Cekungan Airtanah Provinsi Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta*. Direktorat Tata Lingkungan Geologi dan Kawasan Pertambangan, Bandung.
- Soniari, N. N. (2016). *Korelasi fraksi partikel tanah dengan kadar air tanah, erodibilitas tanah dan kapasitas tukar kation tanah pada beberapa contoh tanah dibali*.
- Speranza, G., Cosentino, D., Tecce, F., & Faccenna, C. (2013). Paleoclimate reconstruction during the messinian evaporative drawdown of the mediterranean basin: insights from microthermometry on halite fluid inclusions. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 14(12), 5054–5077. <https://doi.org/10.1002/2013gc004946>
- Suarsa, I. W. (2017). *Teori tumbukan pada laju reaksi kimia*.
- Syarat Mutu Garam Konsumsi Beryodium*. (2016).
- Yousif, M. (2019). Hydrogeological inferences from remote sensing data and geoinformatic applications to assess the groundwater conditions: El-Kubanyia basin, Western Desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 152, 197–214. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.02.003>
- Zhang, F. (2022). Initiation and mobility of recurring loess flowslides on the Heifangtai irrigated terrace in China: Insights from hydrogeological conditions and liquefaction criteria. *Engineering Geology*, 302. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2022.106619>
- Zhang, Q. (2021). Effect of hydrogeological conditions on groundwater nitrate pollution and human health risk assessment of nitrate in Jiaokou Irrigation District. *Journal of Cleaner Production*, 298. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126783>