

EVALUASI KUALITAS AIR TANAH DI KAWASAN PERTANIAN MALAHAYU MENGUNAKAN DATA SAR

Evaluation of Groundwater Quality in Malahayu Agricultural Zone Using SAR Data

Basofi S.¹, Radhitya A.H.^{1*}, Nur Widi A.A.T.H.¹, Heru D.S.², Mifta Z.A.³

¹ Prodi Teknik Geologi, Fakultas Teknik Universitas Akprind Indonesia,

² Prodi Teknik Pertambangan Institut Teknologi Yogyakarta,

³ Prodi Agribisnis Fakultas Pertanian Universitas Malikussaleh

*Corresponding author: radhitya.adzan.h@akprind.ac.id

Abstrak

Desa Malahayu di Kecamatan Banjarharjo, Kabupaten Brebes, Jawa Tengah, memiliki karakteristik geologi dan hidrogeologi yang kompleks dengan potensi besar untuk mendukung irigasi pertanian. Penelitian ini memetakan kondisi geologi wilayah, mengevaluasi kualitas air tanah berdasarkan *sodium adsorption ratio* (SAR), dan memberikan rekomendasi pengelolaan sumber daya air secara berkelanjutan. Data dikumpulkan melalui pemetaan geologi, pengambilan sampel air tanah dari tiga lokasi strategis, dan analisis laboratorium ion utama (Ca, Na, Mg). Hasil menunjukkan bahwa wilayah ini didominasi oleh Napal Pemali, Batupasir Karbonatan Halang, dan Breksi Andesit Kumbang. Pola aliran sungai dendritik mencerminkan struktur geologi yang homogen. Nilai SAR berkisar antara 0,28 hingga 0,72 meq/l, menunjukkan bahwa air tanah sangat baik untuk irigasi. Studi ini menekankan pentingnya hubungan antara geologi dan kualitas air tanah sebagai dasar untuk ketahanan pangan.

Kata kunci: Desa Malahayu, Geologi, Kualitas Airtanah, SAR, Irigasi

Abstract

Malahayu Village, located in Banjarharjo District, Brebes Regency, Central Java, exhibits complex geological and hydrogeological characteristics, offering substantial potential for supporting agricultural irrigation. This study maps the geological conditions of the area, evaluates groundwater quality based on the sodium adsorption ratio (SAR), and provides recommendations for sustainable water resource management. Data were collected through geological mapping, groundwater sampling from three strategic locations, and laboratory analysis of major ions (Ca, Na, Mg). The results reveal that the area predominantly comprises Pemali Marl, Halang Carbonate Sandstone, and Kumbang Andesitic Breccia. A dendritic river flow pattern reflects a homogeneous geological structure. SAR values range from 0.18 to 3.92, indicating that the groundwater is highly suitable for irrigation. This study underscores the critical link between geology and groundwater quality as a foundation for achieving food security.

Keyword ; Malahayu Village, Geology, Groundwater Quality, SAR, Irrigation

PENDAHULUAN

Indonesia, sebagai negara agraris, menghadapi tantangan dalam mengelola sumber daya airtanah yang digunakan untuk

bergantung pada irigasi. Di Kabupaten Brebes, Waduk Malahayu memainkan peran

Latar Belakang

mendukung pertanian. Ketersediaan air berkualitas baik menjadi kunci keberhasilan sektor pertanian, terutama di wilayah yang penting sebagai sumber air permukaan dan airtanah. Namun, penggunaan air yang tidak

optimal dapat menyebabkan degradasi tanah, terutama jika air memiliki kadar natrium tinggi (Mohanavelu A *et al.*, 2021).

Air tanah dengan nilai SAR tinggi dapat mengganggu struktur tanah, menyebabkan

Metode Penelitian

Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan mulai dari Januari s/d Juni 2023. Secara administratif, daerah penelitian terletak kurang lebih 254 km ke arah barat dari kota Yogyakarta, terletak pada Desa Malahayu, Kabupaten Brebes, Provinsi Jawa Tengah. Secara astronomi daerah penelitian terletak pada posisi $07^{\circ}00'30''$ - $07^{\circ}05'00''$ LS dan $108^{\circ}45'00''$ - $108^{\circ}50'00''$ BT. (Gambar 1.1)



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian (Bakosurtanal, 1999 dengan modifikasi)

Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan selama melakukan penelitian adalah Peta topografi skala 1:25.000, digunakan sebagai peta dasar untuk mencatat lintasan dan lokasi penelitian serta memberi warna sesuai litologi. Peta rupa bumi skala 1:25.000 lembar Cibingbin, digunakan sebagai acuan dalam menentukan rute lintasan. Kompas geologi tipe Brunton system azimuth 0° - 360° , digunakan sebagai petunjuk arah dan sebagai alat pengukur *strike dip* serta mengukur kemiringan lereng. GPS Garmin tipe 76CSx, digunakan sebagai penentu lokasi pengamatan dan lintasan di daerah penelitian. Palu geologi batuan sedimen *Estwing*, digunakan sebagai

penurunan infiltrasi air, dan mengurangi produktivitas tanaman (Todd & Mays, 2018). Oleh karena itu, evaluasi kualitas airtanah berdasarkan parameter geokimia menjadi penting untuk mendukung pengelolaan sumber daya air secara berkelanjutan.

pembandingan dalam pengambilan foto dan mengambil sampel. Loupe dengan pembesaran 10x dan 20x, digunakan untuk melihat mineral mineral dalam batuan dan kandungan fosil dalam batuan.

Larutan HCL 0,1 N, digunakan untuk mengindikasikan batuan yang mengandung unsur karbonat. Kamera digital, digunakan sebagai bukti berupa foto litologi dan kenampakan morfologi di daerah penelitian. Kantong sampel batuan, digunakan sebagai tempat sampel batuan yang diambil pada daerah penelitian. Peralatan analisis laboratorium berupa Mikroskop polarisasi dengan pembesaran 40x, digunakan untuk melakukan pengamatan petrografi sayatan tipis. Mikroskop binokuler dengan pembesaran 10x dan 20x, digunakan untuk mengamati jenis fosil dalam suatu batuan. Ayakan 40, 60, 80, 100, 120 mesh dan kuas digunakan untuk mengayak fosil mikro. d. Kamera, digunakan untuk mengambil foto hasil pengamatan fosil dan pengamatan petrografi. e. Alat uji unsur mineral tanah di laboratorium yang digunakan untuk mengetahui kandungan mineral pembawa hara pada tanah tersebut. f. Seperangkat komputer, digunakan sebagai pencatatan hasil serta menyimpan hasil foto.

Metode Penelitian

1. Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder meliputi peta topografi (skala 1:25.000) untuk mengidentifikasi pola aliran sungai dan elevasi, serta peta geologi regional dari Kastowo *et al.* (1975). Kajian literatur mencakup aspek fisiografi dan stratigrafi Pegunungan Serayu Utara (Bemmelen, 1949).

2. Penelitian Lapangan

Pemetaan geologi permukaan dilakukan menggunakan metode observasi langsung untuk mengidentifikasi litologi utama, pemetaan geologi dan struktur geologi. Teknik petrografi diterapkan untuk analisis deskriptif batuan (Tucker, M. E *et al.*, 2023)

3. Pengambilan Sampel Airtanah

Tiga lokasi dipilih berdasarkan variasi litologi:

- Napal Pemali: Sedimen laut dalam.
- Batupasir Karbonatan Halang: Pasir karbonatan di lingkungan laut dangkal.
- Breksi Andesit Kumbang: Material vulkanik.

4. Analisis Laboratorium

Analisis laboratorium dilakukan di Direktorat Jenderal Pencegahan Dan Pengendalian Penyakit Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan Dan Pengendalian Penyakit Yogyakarta. Parameter yang dianalisis meliputi ion utama (Ca, Na, Mg), dengan nilai SAR dihitung berdasarkan formula Todd (2018):

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{1}{2}(Ca^{2+} + Mg^{2+})}}$$

Hasil dan Pembahasan

1. Geomorfologi Wilayah Penelitian

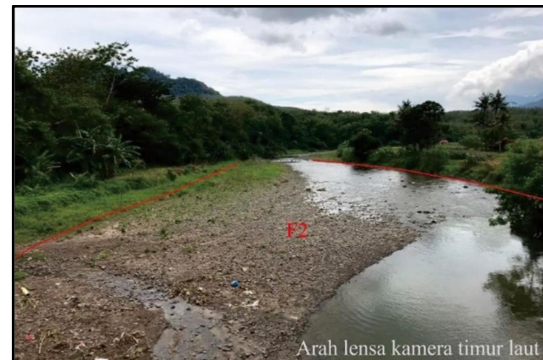
Wilayah penelitian memiliki lima subsatuan geomorfik:

- **Dataran Aluvial (F1):** Area pertanian (Gambar 2) intensif dengan kemiringan lereng <math><2^\circ</math>.



Gambar 2. Dataran alluvial pada daerah Maibah dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai lahan pemukiman dan pertanian. Arah kamera N 63° E.

- **Tubuh Sungai (F2):** Pola aliran dendritik menunjukkan stabilitas geologi. tubuh sungai utama dengan penampang sungai berbentuk U terbentuknya *channel bar* dan *point bar* dengan sungai berstadia dewasa (Gambar 4).



Gambar 3. Tubuh sungai pada sungai Kertasari, dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai lahan pertanian, Arah kamera N 56° E.

- **Danau (F3):** Waduk Malahayu sebagai sumber irigasi utama, berada di ketinggian tertentu di atas permukaan laut yang bersumber dari mata air, air hujan, dan sungai.



Gambar 4. Morfologi bentukan Danau pada Waduk Malahayu yang dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai objek wisata. Arah kamera N 67° E.

- **Perbukitan Denudasi (D2):** Mendominasi bagian utara, tersusun dominan litologi napal.



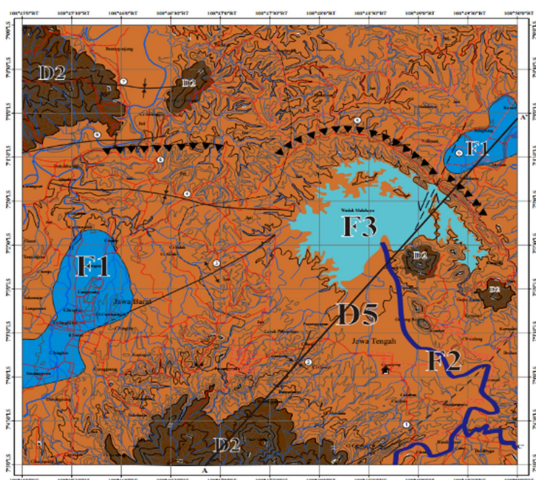
Gambar 5. Perbukitan bergelombang sedang – kuat terdenudasi di daerah Kertasari, arah kamera N 180° E.

- **Perbukitan Vulkanik (D5):** Terbentuk dominasi dari breksi andesit (Gambar 6).



Gambar 6. Dataran di daerah Desa Bandungsari, dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai lahan pemukiman dan pertanian. Arah kamera N 176° E.

Seluruh penyebaran morfologi area disajikan di dalam peta geomorfologi daerah penelitian (Gambar 7).



Gambar 7. Peta Geomorfologi Daerah Penelitian

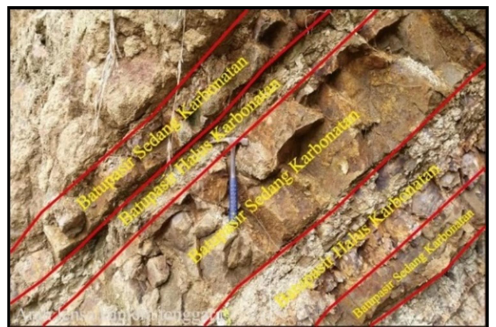
2. Stratigrafi dan Litologi

Stratigrafi wilayah terdiri atas:

- **Napal Pemali (Hijau):** Lapisan napal abu-abu gelap dengan sisipan karbonat.
- **Batupasir Karbonatan Halang (kuning):** Pasir karbonatan dengan matriks karbonat.
- **Breksi Andesit Kumbang (coklat):** Material vulkanik yang diendapkan pada periode Plio-Pleistosen.
- **Endapan Aluvial (abu-abu):** Material berasal dari pelapukan batuan sekitar, belum terkonsolidasi.



Gambar 8.a. Singkapan Napal Pemali dengan sisipan karbonat

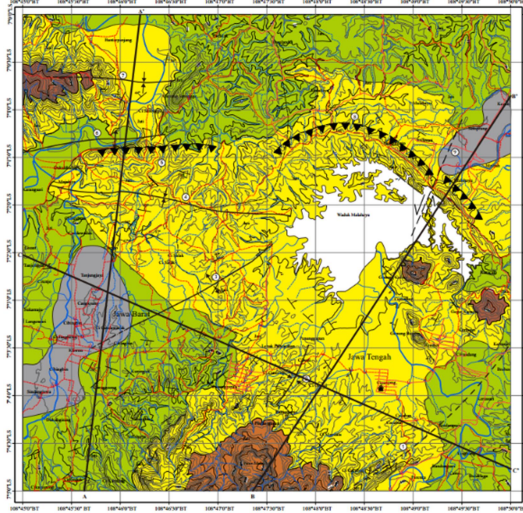


Gambar 8.b. Singkapan batupasir karbonatan Halang Arah foto N 155° E



Gambar 8.c. Singkapan breksi andesit pada satuan breksi andesit Kumbang, Arah foto N 37° E

Peta geologi sebaran dari litologi di atas bisa dilihat pada peta geologi daerah penelitian (Gambar 9).



Gambar 9. Geologi Daerah Penelitian

3. Kualitas Air tanah

Pengambilan sampel pada 3 lokasi yang berbeda pada setiap titik lokasi pengambilan sampel yang berada di tengah sawah maupun di dekat sawah. Terkait dengan kondisi geologi di daerah penelitian diketahui bahwa batuan penyusun pada lokasi pengambilan sampel airtanah adalah napal cerah. Kandungan kalsium (Ca), natrium (Na), dan magnesium (Mg) adalah dalam kondisi baik atau tidak melewati standar baku mutu. Hasil analisis laboratorium (lihat Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3) di atas masuk dalam satuan *miligram per liter* yang akan diubah menjadi *miliequivalent per liter* dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Meq} = \frac{\text{mg} \times \text{valensi}}{\text{massa molekul}}$$

Tabel 1. Hasil pengujian analisis kimia airtanah pada sampel 1

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
1.	Kalsium (Ca)*	mg/L	99,50	SNI 06-6989.12-2004
2.	Natrium (Na)*	mg/L	11,37	APHA 2017, Section 3120-Na
3.	Magnesium (Mg)	mg/L	13,54	SNI 06-6989.12.2004

Keterangan: (*) Parameter Terakreditasi

Tabel 2. Hasil pengujian analisis kimia airtanah pada sampel 2

Tabel 3. Hasil pengujian analisis kimia airtanah pada sampel 3

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
1.	Kalsium (Ca)*	mg/L	179,10	SNI 06-6989.12-2004
2.	Natrium (Na)*	mg/L	37,68	APHA 2017, Section 3120-B
3.	Magnesium (Mg)	mg/L	15,48	SNI 06-6989.12.2004
2.	Natrium (Na)*	mg/L	11,26	APHA 2017, Section 3120-B
3.	Magnesium (Mg)	mg/L	11,61	SNI 06-6989.12.2004

Hasil analisis yang diperoleh kemudian dilakukan klasifikasi tingkat kesesuaian *SAR* untuk kepentingan klasifikasi oleh Todd & Mays, 2018 mengklasifikasikan menjadi 4 kelas, yang terdiri dari kelas sangat baik, baik, cukup baik, dan buruk seperti pada (Tabel 4).

Tabel 4. Klasifikasi nilai *SAR* untuk irigasi (Todd & Mays, 2018)

No	<i>SAR</i> (meq/l)	Kelas airtanah
1.	<10	Sangat baik
2.	10-18	Baik
3.	18-26	Cukup
4.	>26	Buruk

Hasil analisis dihitung dengan rumus:

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{1}{2}(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})}}$$

Hasil perhitungan *Sodium Adsorption Ratio* pada sampel 1 airtanah di Daerah Semprung telah mendapatkan hasil yaitu *miliequivalent per liter (Meq)* yang dihitung setiap unsur yang di analisis yaitu unsur Ca, Na, dan Mg dimasukkan kedalam rumus *SAR* untuk mendapatkan hasil perhitungan *SAR* pada unsur tersebut :

$$\begin{aligned} \text{SAR} &= \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{1}{2}(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})}} \\ &= \frac{0,49}{\sqrt{\frac{1}{2}(4,97 + 1,12)}} \\ &= \frac{0,49}{\sqrt{\frac{1}{2}(6,09)}} \\ &= 0,28 \text{ meq/l} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan *Sodium Adsorption Ratio* pada sampel 2 airtanah di Daerah Malahayu:

$$\begin{aligned} SAR &= \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{1}{2}(Ca^{2+} + Mg^{2+})}} \\ &= \frac{0,48}{\sqrt{\frac{1}{2}(3,98 + 0,96)}} \\ &= \frac{0,48}{\sqrt{\frac{1}{2}(4,94)}} \\ &= \frac{0,48}{1,57} \\ &= 0.30 \text{ meq/l} \end{aligned}$$

Perhitungan *Sodium Adsorption Ratio* pada sampel 3 airtanah di Daerah Maibah:

$$\begin{aligned} SAR &= \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{1}{2}(Ca^{2+} + Mg^{2+})}} \\ &= \frac{1,63}{\sqrt{\frac{1}{2}(8,95 + 1,29)}} \\ &= \frac{1,63}{\sqrt{\frac{1}{2}(10,24)}} \\ &= \frac{1,63}{2,26} \\ &= 0.72 \text{ meq/l} \end{aligned}$$

Hasil analisis menunjukkan:

- SAR Sampel 1= 0.28 meq/l
- SAR Sampel 2= 0.30 meq/l
- SAR Sampel 3= 0.72 meq/l

Kualitas Air tanah untuk Irigasi Berdasarkan Sodium Adsorption Ratio

Analisis kualitas airtanah di daerah Semprung, Malahayu, dan Maibah menunjukkan nilai sodium adsorption ratio masing-masing adalah 0,28 meq/L, 0,30 meq/L, dan 0,72 meq/L. Berdasarkan klasifikasi yang dikembangkan oleh Todd dan Mays (2018), nilai-nilai ini termasuk dalam kategori "sangat baik" untuk irigasi ($SAR < 3$). Nilai ini menunjukkan bahwa airtanah di wilayah tersebut memiliki kandungan natrium rendah dibandingkan dengan kalsium dan magnesium, sehingga aman digunakan untuk sistem irigasi tanpa risiko kerusakan struktur tanah. Penelitian terbaru juga mengindikasikan bahwa nilai SAR rendah secara langsung mendukung stabilitas struktur tanah dan mencegah

terjadinya dispersivitas, yang sangat penting untuk mendukung produktivitas pertanian (Shahid *et al.*, 2019).

Pengaruh Geologi terhadap Nilai SAR

Kondisi geologi di ketiga lokasi sangat memengaruhi kandungan ion utama dalam airtanah. Di daerah Semprung dan Malahayu, keberadaan batuan karbonat seperti batugamping dan dolomit merupakan sumber utama ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} melalui proses pelapukan. Hal ini sejalan dengan studi yang menegaskan bahwa pelapukan batuan karbonat merupakan penyumbang utama kalsium dan magnesium dalam airtanah, terutama di wilayah dengan litologi serupa (Naseer *et al.*, 2020).

Sementara itu, nilai SAR yang sedikit lebih tinggi di Maibah dapat dikaitkan dengan pengayaan natrium dari pengaruh aktivitas vulkanik lokal, dimungkinkan dari hadirnya breksi andesit. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa lingkungan dengan pengayaan natrium cenderung memiliki karakteristik air tanah yang lebih salin, terutama jika dipengaruhi oleh interaksi dengan batuan evaporit atau proses hidrotermal (Jalali, 2022). Variasi litologi dan struktur geologi ini menjadi faktor kunci dalam menentukan kualitas kimia airtanah di setiap lokasi.

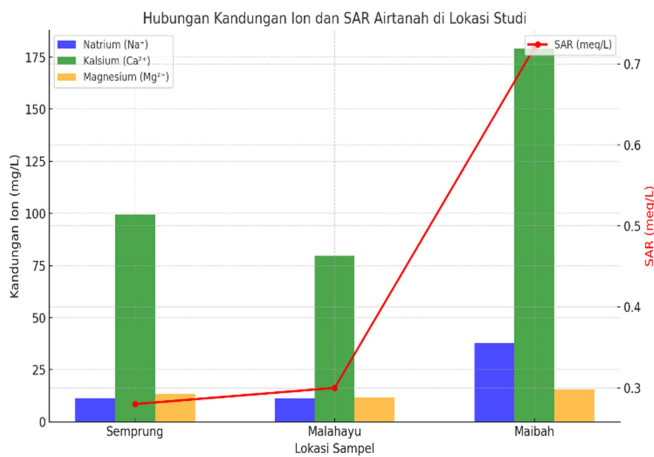
Implikasi Terhadap Produktivitas Pertanian

Nilai SAR rendah memberikan manfaat signifikan untuk menjaga kesuburan tanah. Airtanah dengan SAR rendah mencegah kerusakan struktur tanah akibat dispersivitas, sehingga memungkinkan proses aerasi dan permeabilitas tanah berjalan optimal. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa kandungan natrium yang rendah dalam air irigasi mengurangi risiko tanah menjadi keras dan tidak subur, sehingga mendukung perkembangan akar tanaman yang lebih baik (Zhang *et al.*, 2021).

Untuk memastikan keberlanjutan produktivitas pertanian, pengelolaan airtanah yang baik sangat penting. Langkah-langkah seperti penambahan amelioran (gypsum) dapat membantu meningkatkan kadar kalsium dalam tanah, menyeimbangkan rasio ion, dan

meminimalkan dampak negatif natrium (Amini *et al.*, 2021). Selain itu, pemantauan berkala terhadap kualitas air irigasi diperlukan untuk mencegah kerusakan tanah lebih lanjut. Kualitas airtanah di Semprung, Malahayu, dan Maibah menunjukkan potensi besar untuk mendukung keberlanjutan sektor pertanian.

Air tanah berkualitas tinggi di wilayah ini tidak hanya mendukung retensi air di zona akar, tetapi juga mempertahankan kandungan nutrisi yang penting bagi tanaman. Dalam konteks yang lebih luas, daerah dengan airtanah berkualitas rendah sering kali memiliki tanah salin yang sulit diolah untuk pertanian, sehingga penelitian ini memberikan dasar ilmiah yang kuat untuk pengelolaan sumber daya air tanah yang berkelanjutan (Rahman *et al.*, 2020).



Gambar 10. Grafik Hubungan Ion dan SAR Air Tanah Kawas Pertanian Malahayu

Grafik pada Gambar 10 menunjukkan hubungan antara kandungan ion utama (Na⁺, Ca²⁺, dan Mg²⁺) dan nilai sodium adsorption ratio di tiga lokasi studi: Semprung, Malahayu, dan Maibah. Kandungan ion Natrium (Na⁺), Kalsium (Ca²⁺), dan Magnesium (Mg²⁺) dipresentasikan dalam grafik batang, sedangkan nilai SAR diwakili oleh grafik garis merah.

Dalam konteks pertanian, air dengan SAR tinggi dapat mengurangi produktivitas tanah, terutama karena tanah menjadi keras, tidak subur, dan kurang mendukung perkembangan akar. Untuk mengatasi hal ini, penggunaan amelioran seperti gypsum dapat meningkatkan kadar kalsium pada tanah dan mengurangi dampak natrium. Selain itu, pengawasan berkala terhadap kualitas air irigasi sangat

penting untuk menjaga keseimbangan ion, sehingga mencegah kerusakan tanah lebih lanjut. Dengan pengelolaan air yang baik, lahan pertanian dapat tetap produktif dan berkelanjutan.

Kualitas air tanah dengan nilai SAR yang rendah memiliki implikasi positif terhadap pertanian. Air tanah seperti ini tidak hanya mendukung retensi air yang baik dalam tanah, tetapi juga mempertahankan nutrisi di zona akar tanaman. Dalam konteks geologi, daerah dengan nilai SAR tinggi sering kali memiliki tanah yang cenderung salin, yang sulit diolah sebagai lahan pertanian. Oleh karena itu, keberadaan air tanah berkualitas di Semprung, Malahayu, dan Maibah memberikan potensi besar untuk pengembangan sektor pertanian yang berkelanjutan dan produktif.

KESIMPULAN

Penelitian ini menegaskan pentingnya hubungan antara geologi dan kualitas air tanah di Malahayu. Nilai SAR yang rendah memastikan air tanah sesuai untuk irigasi. Rekomendasi strategis mencakup pengelolaan terpadu dan monitoring berkala untuk menjaga keberlanjutan sumber daya air di daerah penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Amini, H., Ghafoori, M., & Erfani, S. (2021). Gypsum amelioration for sodic soil reclamation: Mechanisms and applications. *Soil Use and Management*, 37(1), 14–22. <https://doi.org/10.1111/sum.12609>
- Bemmelen, R. W. (1949). *The geology of Indonesia*. The Hague: Government Printing Office.
- Freeze, R. A., & Cherry, J. A. (1979). *Groundwater*. Prentice Hall.
- Hem, J. D. (1985). *Study and interpretation of chemical characteristics of natural water*. U.S. Geological Survey.
- Howard, A. D. (1967). Drainage analysis in geologic interpretation: A summation. *Bulletin of the Geological Society of America*, 78(10), 123–146.

[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1967\)78\[123:DAIGI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1967)78[123:DAIGI]2.0.CO;2)

- Jalali, M. (2022). Hydrogeochemical processes influencing groundwater quality in arid and semi-arid regions. *Environmental Geochemistry and Health*, 44(2), 621–635. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-01019-8>
- Kastowo, et al. (1975). *Peta geologi lembar Majenang, Jawa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Mohanavelu, A., Naganna, S. R., & Al-Ansari, N. (2021). Irrigation-induced salinity and sodicity hazards on soil and groundwater: Causes, impacts, and mitigation strategies. *Agriculture*, 11(10), 983. <https://doi.org/10.3390/agriculture11100983>
- Naseer, A., Muhammad, R., & Shakirullah, M. (2020). Groundwater quality assessment and its suitability for irrigation: A case study in carbonate aquifers. *Geosciences Journal*, 24(1), 45–55. <https://doi.org/10.1007/s12303-020-0012-3>
- Rahman, M. M., Sarkar, M. I. U., & Hassan, M. S. (2020). Influence of salinity on soil properties and crop production: A critical review. *Agricultural Water Management*, 241, 106387. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106387>
- Shahid, S. A., Zaman, M., & Heng, L. (2019). *Soil salinity and sodicity management in irrigated agriculture*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-96190-3>
- Todd, D. K., & Mays, L. W. (2018). *Groundwater hydrology* (3rd ed.). Wiley.
- Tucker, M. E., & Jones, S. J. (2023). *Sedimentary petrology* (4th ed.). Wiley.
- Zhang, Y., Wang, R., & Li, X. (2021). Impacts of sodium adsorption ratio (SAR) on soil physical properties and crop growth. *Agronomy Journal*, 113(3), 567–579. <https://doi.org/10.1002/agj2.20415>