



Studi Hidrogeokimia di Eks-TPA Jelekong dan Perbandingannya TPA Sarimukti

Muhammad Iqbal Musthofa¹, Yundhera Danazahra², Yaumun Nurul Chotimah³, Hanifa Octaviani⁴, Irwan Iskandar⁵

^{1,2,4} Program Studi Magister Teknik Air Tanah, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

³ Program Studi Magister Teknik Geothermal, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

⁵ Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

Email Koresponden: iqbalmusthofa12@gmail.com

Abstract. The Jelekong landfill was a temporary landfill site following a landslide at the Leuwigajah landfill. TPA Jelekong was officially closed at the end of 2005 because it was no longer able to accommodate the increasing volume of waste. However, the impact of activities from the former landfill still has the potential to pollute the environment, especially groundwater sources. The research aimed to identify the physical and chemical parameters of water in the Jelekong ex-landfill case study area and the surrounding area, and to compare the physical and chemical parameters of water between the Jelekong ex-landfill and the landfill that is still operating (Sarimukti landfill). Data were obtained from 4 water sample points and tested using several test methods, namely Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS), Ion Chromatography (IC), alkalinity, and stable water isotopes. The results showed that the physical characteristics of the Jelekong area generally have a neutral pH with one point having an alkaline pH (JL-02) due to interaction with andesite lithology and the highest DO concentration at point JL-02. While the Sarimukti landfill has a pH value of 7.89-8.27 indicating the result of high bicarbonate concentrations, the TDS value of 15700-18200 ppm indicates the large number of ions and solutes derived from organic and inorganic waste. Piper diagrams show two water facies in the Jelekong area, Ca-HCO₃ and Na-HCO₃. Sample JL-03 indicates a mixture with landfill leachate due to high Cl and SO₄ concentrations. Sample JL-01 still indicates leachate because when compared to the sarimukti sample, the Cl and SO₄ concentrations are still quite high indicating a result of both organic and inorganic waste. Stable isotope test results indicated that the water was derived from local precipitation.

Keywords: Hydrogeochemistry, Ex-TPA jelekong, Groundwater pollution, Leachate water

Abstrak. Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Jelekong merupakan lokasi TPA sementara setelah terjadinya longsor di TPA Leuwigajah. TPA Jelekong resmi ditutup pada akhir tahun 2005 karena tidak lagi mampu menampung volume sampah yang terus meningkat. Namun, dampak aktivitas dari eks-TPA tersebut masih berpotensi mencemari lingkungan, terutama sumber air tanah. Penelitian bertujuan untuk mengidentifikasi parameter sifat fisika dan kimia air di wilayah studi kasus Eks-TPA Jelekong dan area di sekitarnya, serta membandingkan parameter sifat fisika dan kimia air antara Eks-TPA Jelekong dan TPA yang masih beroperasi (TPA Sarimukti). Data diperoleh dari 4 titik sampel air dan diuji menggunakan beberapa metode uji, yakni Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS), Ion Chromatography (IC), alkalinitas, dan stable water isotop. Hasil penelitian menunjukkan karakteristik fisik pada daerah Jelekong umumnya memiliki pH yang bersifat netral dengan satu titik memiliki pH alkali (JL-02) akibat interaksi dengan litologi andesit dan konsentrasi DO tertinggi di titik JL-02. Sedangkan pada TPA Sarimukti memiliki nilai pH 7.89-8.27 menunjukkan akibat dari tingginya konsentrasi bikarbonat, nilai TDS 15700-18200 ppm menunjukkan banyaknya ion dan zat terlarut yang berasal dari sampah organik maupun anorganik. Diagram piper menunjukkan adanya dua fasies air pada daerah Jelekong, yaitu Ca-HCO₃ dan Na-HCO₃. Sampel JL-03 mengindikasikan adanya campuran dengan air lindi TPA akibat konsentrasi Cl dan SO₄ yang tinggi. Sampel JL-01 masih mengindikasikan air lindi karena ketika dibandingkan dengan sampel sarimukti, konsentrasi Cl dan SO₄ masih cukup tinggi menandakan akibat dari sampah organik maupun anorganik. Hasil uji isotop stabil menunjukkan adanya indikasi bahwa air berasal dari presipitasi lokal.

Kata kunci: Hidrogeokimia, Eks-TPA jelekong, Pencemaran airtanah, Air lindi

1. PENDAHULUAN

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Jelekong merupakan lokasi penampungan sementara untuk pengelolaan sampah setelah terjadinya longsor di TPA Leuwigajah. Tempat ini menampung sampah rumah tangga dan pasar dengan volume mencapai 4500 m³ per hari. Berbagai jenis limbah dibuang di sana, termasuk sampah organik, plastik, barang pecah belah, dan material lainnya. Limbah-limbah tersebut mengandung senyawa kimia organik maupun anorganik yang berpotensi mencemari lingkungan, terutama sumber air tanah (Pokja AMPL, 2005).

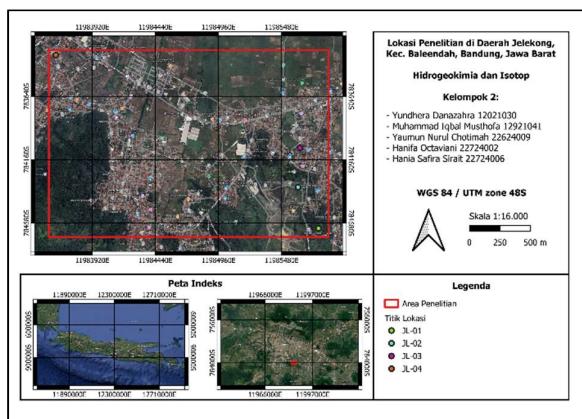
Pada tahun 2005, TPA Jelekong tidak lagi mampu menampung volume sampah yang terus meningkat. Tumpukan sampah setinggi dua meter di atas jalan raya meningkatkan risiko terjadinya longsor, sehingga TPA ini secara resmi ditutup pada akhir tahun 2005. Namun, dampak dari aktivitas di TPA tersebut masih terasa hingga saat ini, terutama terkait potensi pencemaran lingkungan akibat air lindi (*leachate*). Air lindi terbentuk ketika air hujan menyerap melalui tumpukan sampah, membawa bahan kimia berbahaya, lalu meresap ke dalam tanah dan mencemari sumber air tanah di bawahnya (Pokja AMPL, 2005).

Penting untuk memahami perbedaan parameter fisika dan kimia antara TPA Jelekong dan area di sekitarnya yang tidak terpapar langsung oleh aktivitas TPA. Perbandingan ini dapat memberikan informasi mengenai tingkat pencemaran yang ditimbulkan selama masa operasional TPA Jelekong. Selain itu, untuk menilai keberlanjutan sistem pengelolaan sampah, diperlukan perbandingan antara kondisi TPA Jelekong dan TPA Sarimukti, yang masih aktif saat ini. Pemilihan TPA Sarimukti sebagai lokasi pembanding didasarkan pada kesamaan kondisi geologi regional antara kedua wilayah tersebut. Pendekatan ini dapat memberikan wawasan menyeluruh tentang dampak aktivitas TPA terhadap lingkungan serta langkah-langkah yang dapat diambil untuk meningkatkan pengelolaan TPA di masa depan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi parameter sifat fisika dan kimia air di wilayah studi kasus Eks-TPA Jelekong dan sekitarnya, serta membandingkan parameter sifat fisika dan kimia air antara Eks-TPA Jelekong dan TPA yang masih beroperasi (TPA Sarimukti).

2. METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi penelitian berada di daerah Jelekong, Kecamatan Baleendah, Kabupaten Bandung. Secara geografis, daerah ini berada di lintang 06° 59' 54,2" LS - 07° 02' 41,88" LS dan bujur 107° 38' 36,67" BT - 107° 40' 28" BT.



Gambar 1. Daerah Penelitian

Alat:

1. Syringe 50 mL
2. Filter syringe 50 mL
3. Pipet
4. Water Quality Meter
5. Botol HDPE 50 mL
6. Sekop sedimen

Bahan:

1. Cairan HNO₃
2. Kertas laksus
3. Plastik sedimen 500 mL

Metode Pengambilan Sampel Air

1. Menuju titik koordinat yang sudah ditentukan dengan memastikan alat seperti syringe dan filter syringe telah disterilkan terlebih dahulu untuk mencegah kontaminasi.
2. Sampel diambil langsung dari sumber mata air atau air yang akan disampel menggunakan syringe 50 mL.
3. Setelah air diambil, parameter fisika air diukur menggunakan Water Quality Meter (WQM), meliputi suhu, pH, konduktivitas, dan salinitas. Hasil pengukuran dicatat secara detail.
4. Air yang telah diambil dibagi menjadi tiga bagian untuk pengujian:
 - a. Air untuk uji isotop stabil disaring menggunakan filter syringe 50 mL, lalu dimasukkan ke dalam botol HDPE 50 mL dan disimpan di tempat dingin.
 - b. Air untuk uji ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*) disaring

- menggunakan filter syringe 50 mL, kemudian diasamkan dengan beberapa tetes HNO_3 hingga mencapai $\text{pH} < 2$, lalu dimasukkan ke dalam botol HDPE 50 mL.
- c. Air untuk uji alkalinitas tidak disaring dan tidak diasamkan, langsung dimasukkan ke dalam botol HDPE 50 mL.
 5. Pada setiap titik koordinat, tiga sampel air diambil untuk ketiga jenis pengujian tersebut.
 6. Langkah di atas diulangi pada setiap titik koordinat lainnya yang telah ditentukan.

Metode Pengujian Sampel

Uji konsentrasi dengan ICP-MS

Uji konsentrasi dilakukan menggunakan *instrumen Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry* (ICP-MS) untuk menganalisis konsentrasi elemen logam dan mineral dalam sampel air. Sampel air yang telah diasamkan dengan HNO_3 selama pengambilan sampel di lapangan dimasukkan ke dalam perangkat ICP-MS. Instrumen ini bekerja dengan cara mengionisasi elemen-elemen dalam sampel dan mengukur massa ion yang dihasilkan, sehingga menghasilkan data kuantitatif tentang konsentrasi elemen seperti kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan logam lainnya dengan sensitivitas yang sangat tinggi.

Uji Alkalinity

Uji alkalinitas dilakukan untuk menentukan kapasitas penyanga (buffer) air terhadap asam, terutama yang disebabkan oleh keberadaan ion karbonat (CO_3^{2-}) dan bikarbonat (HCO_3^-). Sampel air yang tidak disaring dan tidak diasamkan dititrasi dengan larutan asam standar, seperti HCl, sambil memantau perubahan pH menggunakan alat pH meter. Data hasil titrasi digunakan untuk menghitung konsentrasi alkalinitas dalam bentuk ekuivalen kalsium karbonat (CaCO_3).

Uji ion chromatography

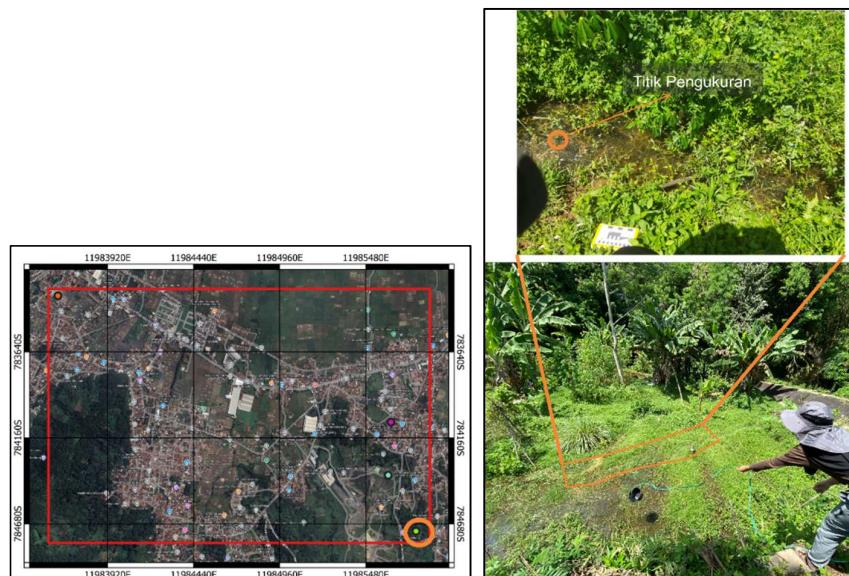
Pengujian ion dalam sampel air dilakukan menggunakan teknik Ion Chromatography (IC). Sampel air yang telah disaring selama pengambilan sampel di lapangan dianalisis untuk menentukan konsentrasi ion-ion utama seperti klorida (Cl^-), sulfat (SO_4^{2-}), nitrat (NO_3^-), dan ion-ion lain yang larut. Metode ini menggunakan kolom kromatografi yang memisahkan ion berdasarkan interaksi mereka dengan media stasioner, sehingga memungkinkan pengukuran konsentrasi ion dengan akurasi tinggi.

Uji stable water isotop

Uji isotop stabil pada sampel air dilakukan untuk mengidentifikasi kandungan isotop oksigen ($\delta^{18}\text{O}$) dan hidrogen ($\delta^2\text{H}$). Sampel air yang telah disaring dianalisis menggunakan alat spektrometer isotop. Analisis ini memberikan informasi tentang asal-usul air dan proses geokimia yang terjadi selama perjalannya melalui sistem hidrotermal. Hasil pengujian isotop stabil dapat digunakan untuk memahami kondisi reservoir geothermal, seperti suhu dan interaksi air dengan batuan.

Lokasi Pengambilan Data Lapangan

Titik JL-01 merupakan air lindi dari tempat pembuangan sampah Jelekong. Titik JL-01 ini terletak pada koordinat 795003E dan 9221918S.



Gambar 2. Lokasi JL-01

Titik JL-02 merupakan air dari daerah tambang yang berada 300 m dari titik JL-01. Titik JL-02 ini terletak pada koordinat 794838E dan 9222253S.



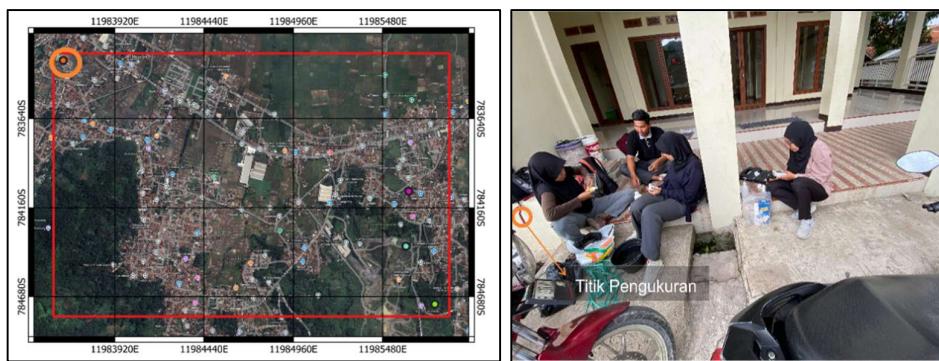
Gambar 3. Lokasi JL-02

Titik JL-03 merupakan air dari daerah tambang yang berada 1 km dari titik JL-01. Titik JL-03 ini terletak pada koordinat 794856E dan 9222570S.



Gambar 4. Lokasi JL-03

Titik JL-04 merupakan air dari daerah tambang yang berada 4 km dari titik JL-01. Titik JL-04 ini terletak pada koordinat 792862E dan 9223335S.



Gambar 5. Lokasi JL-04

Karakteristik Sifat Fisik

Tabel 1. Karakteristik sifat fisik daerah penelitian

Sample Code		JL-01	JL-02	JL-03	JL-04
Location		Kolam Pengolahan TPS	Tambang	Sumur Warga	Air Masjid
Date		30/11/2024	30/11/2024	30/11/2024	30/11/2024
GPS Coordinate (UTM)	Zone (48S)	X Y Z	795003 9221918 718	794838 9222253 698	794856 9222570 688
Pengukuran Lapangan	Temp (°C) pH Eh (mV) TDS (ppm) CD (µS) Salinity (%) DO mg/L Hardness mg/L	45.6 6.68 -15 167 242 0 2.4 121	32.8 8.68 23 69.8 105.7 0 8.7 50.8	25.2 7.1 64 290 442 0.02 2.2 220	27.3 6.93 39 1246 1874 0.09 4.9 933

Ion Chromatography (IC)

Tabel 2. Data kimia daerah penelitian

Kode Sampel	JL-1	JL-2	JL-3	JL-4
Konsentrasi Anion (ppm)	F ⁻	0,00	0,00	0,00
	Cl ⁻	29,93	1,55	28,70
	NO ³⁻	0,93	0,58	1,28
	SO ₄ ²⁻	39,22	6,37	53,68
Konsentrasi Kation (ppm)	HCO ₃ ⁻	93,94	57,34	218,38
	Na ⁺	27,08	4,11	38,28
	NH ₄ ⁺	0,40	0,12	0,88
	K ⁺	60,58	13,03	74,04
	Ca ₂ ⁺	22,57	10,99	59,18
	Mg ₂ ⁺	5,89	4,23	10,09
	Σ Kation (meq)	2,97	1,12	5,69
Σ Anion (meq)		3,22	1,13	5,53
Ion Balance (%)		4,04	0,48	6,30

Induced Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS)

Tabel 3. Data hasil ICP-MS

Kode Sampel	Fe (ppb)	Mn (ppb)
JL-01	1.434	0.860
JL-02	0.091	0.04
JL-03	0.027	0.615

JL-04	0	0.685
-------	---	-------

Alkalinity

Tabel 4. Data alkalinity

Kode Sampel	CaCO ₃ (ppm)	HCO ₃ ⁻ (ppm)
JL-01	77	93,94
JL-02	47	57,34
JL-03	179	218,38
JL-04	214	261,08

Stable water isotope (Isotop OH)

Tabel 5. Data isotop daerah penelitian

Kode Sampel	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)
JL-01	-7.269 ± 0.002	-43.003 ± 0.075
JL-02	-9.514 ± 0.016	-64.290 ± 0.078
JL-03	-8.339 ± 0.039	-51.264 ± 0.082
JL-04	-7.351 ± 0.024	-44.463 ± 0.041

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Fisik

Secara umum, pH pada Daerah Jelengkong bersifat netral. Namun terdapat satu mata air di daerah tambang (JL-02) yang memiliki pH mencapai 8. Keberadaan pH basa di area tambang ini disebabkan oleh interaksi dengan litologi sekitarnya, yaitu andesit, yang mengandung mineral seperti plagioklas, feldspar, biotit, mika, dan kuarsa. Mineral-mineral tersebut terbentuk dari magma felsik, sehingga air di sekitarnya cenderung memiliki pH yang bersifat alkali.

Tabel 6. Data karakteristik fisik TPA Sarimukti

No.	Kode Sampel	Suhu (°C)	pH	TDS (ppm)
1	A3 (air lindi)	30	8.27	15700
2	A4 (air lindi)	38.1	7.89	18200
3	A5 (air sungai)	34.9	7.81	2630
4	A7 (air sungai)	32.5	8.18	596
5	SP1 (sumur pantau)	28.9	7.1	292
6	SP2 (sumur pantau)	30.2	7.4	498
7	SW2 (sumur gali)	27.8	7.25	395
8	SW4 (sumur gali)	26.9	6.62	106.4

Sumber: Data parameter fisika sampel air di TPA Sarimukti (Riska, 2023)

Dissolved Oxygen (DO) memiliki hubungan berbanding terbalik dengan parameter nutrient; Ketika konsentrasi ion NO_3^- tinggi, nilai DO akan cenderung rendah, dan sebaliknya (Yolanda,dkk, 2016). Hal ini terlihat pada sampel JL-2 yang memiliki nilai DO sebesar 8.7 mg/L dengan nilai konsentrasi ion NO_3^- hanya 0.583 ppm. Sampel JL-02 memiliki nilai DO paling tinggi dan nilai konsentrasi ion NO_3^- paling rendah dibandingkan titik lainnya.

Menurut Riska (2023), air lindi (titik A3 dan A4) pada TPA Sarimukti yang merupakan TPA aktif, memiliki sifat fisik air dengan nilai pH 7.89 hingga 8.27, suhu 30°C hingga 38.1°C, dan TDS 15700 hingga 18200 ppm. Nilai TDS yang sangat tinggi dan melebihi nilai ambang batas menunjukkan banyaknya ion dan zat terlarut pada lokasi tersebut. Ion dan zat terlarut yang terkandung pada air lindi berasal dari sampah organik, plastik, kain ataupun sampah anorganik lainnya yang terkumpul di TPA Sarimukti. Suhu tertinggi dengan nilai 38.1°C dan TDS 18200 ppm berada pada titik A4 (air lindi) yang merupakan buangan dari hasil olahan sampah TPA Sarimukti.

Sampel air pada titik A3 dan titik A4 memiliki konsentrasi HCO_3^- yang sama tinggi, yaitu 4880 ppm. Bikarbonat bersifat amfoter dan mampu menghasilkan ion hidroksida (OH^-), sehingga meningkatkan pH air menjadi +7 (basa). Pada titik A3 tidak ada NH_4^+ yang bersifat asam, efek bikarbonat lebih dominan, menjadikan pH lebih tinggi. Sedangkan keberadaan pH pada titik A4 lebih asam dibandingkan dengan titik A3 disebabkan oleh adanya ion NH_4^+ yang bersifat asam lemah karena dapat melepaskan ion H^+ ke dalam larutan dalam proses nitrifikasi:



Ion Chromatography (IC)

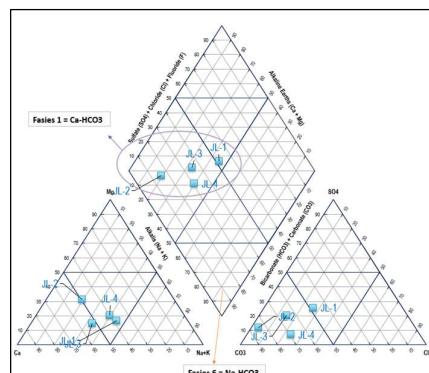
Kesetimbangan ion (*ion balance*) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menilai kelengkapan dan akurasi analisis kimia air. Metode ini dilakukan sebelum data sampel

air diinterpretasikan lebih lanjut. Secara alami, air seharusnya tidak memiliki muatan sehingga jumlah kation dan anion yang terlarut dalam air adalah sama. Akan tetapi, variasi kesetimbangan ion dalam sampel air dapat terjadi dikarenakan adanya reaksi kimia dalam air. Oleh karena itu, sampel dianggap layak untuk dianalisis jika nilai kesetimbangan ionnya kurang dari 5% (Nicholson, 1993). Perhitungan kesetimbangan ion mengikuti persamaan berikut:

$$\text{Ion Balance (IB)} = \left| \frac{\Sigma \text{kation} - \Sigma \text{anion}}{\Sigma \text{kation} + \Sigma \text{anion}} \right| \times 100\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan kesetimbangan ion yang tercantum dalam Tabel 2, sampel menunjukkan nilai kurang dari 5%, sehingga data yang diperoleh dapat dianggap valid dan layak untuk analisis lanjutan. Namun, hasil uji laboratorium menunjukkan adanya kesalahan pada beberapa data, yaitu NH_4^+ sebesar 54 ppm dan Li sebesar 28 ppm.

5.2.1 Diagram Piper

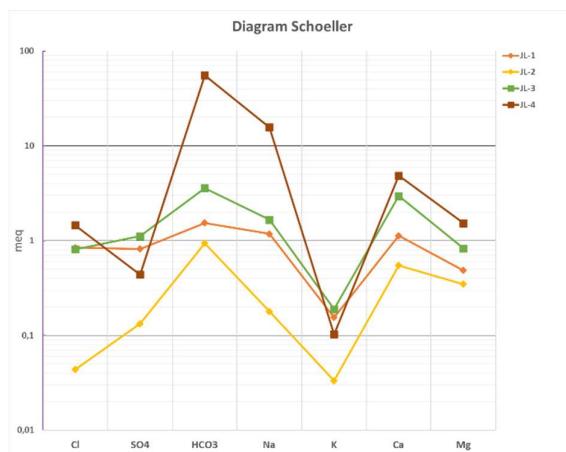


Gambar 6. Diagram piper daerah penelitian

Pada daerah Jelekong, jenis fasies air yang dominan adalah Ca-HCO₃, sebagaimana terlihat pada diagram Piper. Fasies ini mencakup sampel air JL-01, JL-02, JL-03, dan JL-04, yang menunjukkan karakteristik air dengan dominasi kation kalsium (Ca²⁺) dan anion bikarbonat (HCO₃⁻). Temuan ini didukung oleh analisis Diagram Schoeller, yang menunjukkan bahwa setiap titik sampel memiliki konsentrasi HCO₃⁻ tertinggi di antara anion lainnya, seperti SO₄²⁻ dan Cl⁻. Selain itu, pada sampel JL-01, JL-02, JL-03, dan JL-04, kation dengan konsentrasi tertinggi adalah Ca²⁺, sesuai dengan karakteristik fasies Ca-HCO₃. Sampel-sampel tersebut merupakan air meteorik atau air permukaan. Air meteorik ini memiliki ciri khas dengan kation utama Ca²⁺ dan anion utama HCO₃⁻, sebagaimana dijelaskan oleh Akram et al. (2011). Hal ini menunjukkan bahwa air di daerah tersebut berasal dari presipitasi atau proses infiltrasi dengan interaksi minimal terhadap mineral atau batuan di dalam tanah, sehingga air tersebut memiliki kualitas yang baik dan relatif segar.

Diagram Schoeller

Diagram Schoeller digunakan untuk menggambarkan distribusi relatif konsenterasi anion dan kation dalam sampel air, yang diukur dalam miliekuivalen. Analisis pada diagram schoeller memberikan informasi terhadap kesamaan atau perbedaan dalam komposisi anion dan kation dalam sampel air. Hal ini dapat mengindikasikan kesamaan atau perbedaan dalam proses yang dialami oleh sampel air tersebut. Berdasarkan diagram schoeller terlihat ion SO₄ dan Cl pada JL-01 dan JL-03 memiliki kesamaan, hal ini dapat disebabkan bahwa air pada titik sampel JL-01 yang merupakan air lindi sudah bergerak ke sumur penduduk dikarenakan adanya perbedaan elevasi dan diduga kedua titik tersebut merupakan satu sistem aliran yang sama. Sampel JL-02 jaraknya lebih dekat dengan JL-01 daripada JL-03, namun konsenterasi Cl dan SO₄ pada titik JL-02 tidak menunjukkan adanya kontaminasi dengan air lindi dari titik sampel JL-01, hal ini dikarenakan pengambilan sampel di titik JL-02 bukan berasal dari sumur pantau namun dari air permukaan.



Gambar 7. Diagram schoeller daerah penelitian

Pada diagram Schoeller terdapat nilai konsenterasi Na⁺ dan K⁺ yang serupa pada titik sampel JL-01, JL-03, dan JL-04. Hal ini dikarenakan adanya limbah rumah tangga yang mengontaminasi air. Beda hal nya dengan titik sampel JL-02 yang memiliki Na⁺ dan K⁺ lebih rendah dikarenakan pengambilan sampel dari air permukaan sehingga air belum sempat melarutkan banyak mineral.

Tabel 7. Data kimia dari TPA Sarimukti

No.	Kode	F-	Cl-	Br-	NO3-	NO2-	SO4-	HCO3-	Na+	NH4+	K+	Ca+	Mg+
1	A3	0.75	2117	11.69	9.81	0	45.84	4880	1397	0	1354	44.22	32.27
2	A4	0	2474	12.19	10.47	0	18.19	4880	1243	1484	1219	37.64	30.67
3	A5	0	408.8	6.01	0	0	8.22	1434	226.8	230.4	163.2	84.66	22.76
4	A7	0	71.77	0	0	8.47	12.42	92.35	50.22	42.99	36.68	33.06	5.4
5	SP1	0	24.07	0	2.32	0	37.3	323.8	11.29	0.67	3.45	95.41	15.92
6	SP2	0.14	173.2	1.53	3.35	7.66	5.06	345.9	151.8	0.98	6.85	38.3	9.76
7	SW2	0.02	80.19	1.02	10.32	0	11.93	158.4	36.83	0.72	12.14	49.18	8.48
8	SW4	0	17.07	0	18.3	0.99	1.2	44.65	4.16	1.43	0.55	16.88	4.72

Sumber: Data parameter fisika sampel air di TPA Sarimukti (Triyadi, 2023)

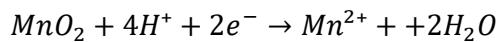
Pada titik sampel A3 dan A4 di TPA Sarimukti, ditemukan bahwa konsentrasi ion Na⁺, Cl⁻, dan HCO₃⁻ melebihi ambang batas yang ditetapkan oleh PP No 22 Tahun 2021, serta konsentrasi NH₄⁺ yang tinggi pada titik sampel A4. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Triyadi (2023), konsentrasi Cl⁻ dan Na⁺ yang tinggi di lokasi ini diperkirakan berasal dari akumulasi sampah rumah tangga.

Perbandingan nilai konsentrasi ion pada TPA Sarimukti dan Eks TPA Jelekong cukup jauh. Hal ini dapat dikarenakan TPA Sarimukti yang masih beroperasi hingga sekarang, sedangkan Eks TPA Jelekong yang sudah tidak beroperasi lagi semenjak tahun 2005. TPA yang masih beroperasi memiliki nilai konsentrasi Cl⁻, HCO₃⁻, dan Na⁺ yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan TPA yang sudah tidak beroperasi.

Instrumen Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS)

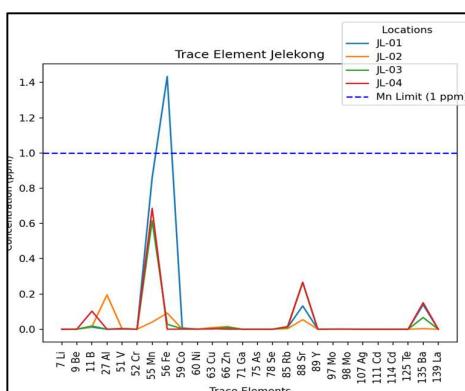
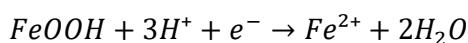
- *Trace Element*

Trace element dari data ICPMS yang didapat diplot pada gambar diatas, menunjukkan konsentrasi Mn²⁺ tertinggi sebesar 1400 ppb pada lokasi JL-01 dan Fe²⁺ sebesar 600 ppb pada lokasi JL-03. Konsentrasi Mn²⁺ di eks-TPA Jelekong ini melebihi baku mutu yang ditetapkan dalam PP No. 22 Tahun 2021. Kondisi ini disebabkan oleh lingkungan anaerobik yang terbentuk akibat penumpukan sampah organik selama bertahun-tahun. Dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme mengonsumsi oksigen dan menciptakan zona redoks rendah, yang mendorong reduksi mangan dari bentuk oksida (MnO₂) menjadi bentuk larut (Mn²⁺) sesuai reaksi berikut:



Lingkungan dengan pH rendah, akibat asam-asam yang dihasilkan oleh dekomposisi organik, mempercepat pelarutan mangan dan mendukung akumulasi Mn²⁺ dalam air lindi. Selain itu, mikroorganisme anaerobik berperan penting dalam proses reduksi ini, dengan

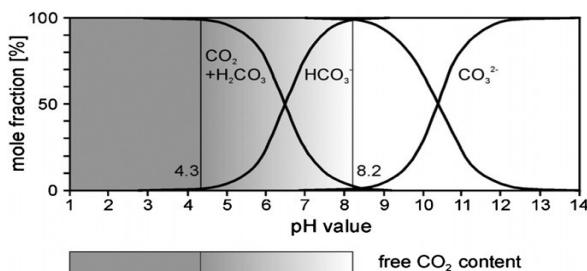
memanfaatkan mangan oksida sebagai akseptor elektron. Kompleksasi antara Mn^{2+} dan senyawa organik terlarut dalam air lindi juga meningkatkan mobilitas dan kelarutan mangan, sehingga menghasilkan konsentrasi yang tinggi, seperti terdeteksi di JL-01. Keberadaan Fe^{2+} dengan konsentrasi lebih rendah dibanding Mn^{2+} juga merupakan hasil reduksi besi oksida atau hidroksida.



Gambar 8. Diagram *trace element* daerah penelitian

- *Alkalinity*

Nilai konsentrasi HCO_3^- yang tinggi diakibatkan oleh air hujan yang bereaksi dengan air pada keempat titik sampel. Terdapat hubungan antara pH dengan nilai konsentrasi HCO_3^- seperti pada gambar 9



Gambar 9. Grafik hubungan derajat keasaman dengan fraksi bikarbonat

pH pada keempat sampel memiliki nilai yang lebih besar dari 6.5 sehingga adanya kecenderungan terbentuk HCO_3^- dari H_2CO_3 seperti reaksi kimia di bawah ini.



Nilai konsentrasi ion HCO_3^- pada titik sampel JL-03 dan JL-04 jauh lebih tinggi dibandingkan dengan JL-01 dan JL-02. Pada bawah permukaan tanah, terdapat aktivitas

mikroorganisme serta dekomposisi bahan organik sehingga adanya peningkatan kadar CO₂. CO₂ yang larut ke dalam tanah menghasilkan asam karbonat yang kemudian akan terdisosiasi menjadi bikarbonat seperti pada reaksi kimia di atas. Sehingga JL-03 dan JL-04 yang merupakan air sumur memiliki nilai HCO₃⁻ lebih tinggi karena kadar CO₂ yang lebih tinggi dibandingkan dengan air permukaan yang terpapar udara bebas seperti pada titik sampel JL-01 dan JL-02. Selain itu, air permukaan sering mengalami *degassing* CO₂ atau kehilangan CO₂ ke atmosfer karena interaksi langsung dengan udara yang mengakibatkan konsentrasi HCO₃⁻ berkurang. Oleh karena itu, air permukaan seperti titik sampel JL-01 dan JL-02 memiliki nilai konsentrasi HCO₃⁻ lebih rendah.

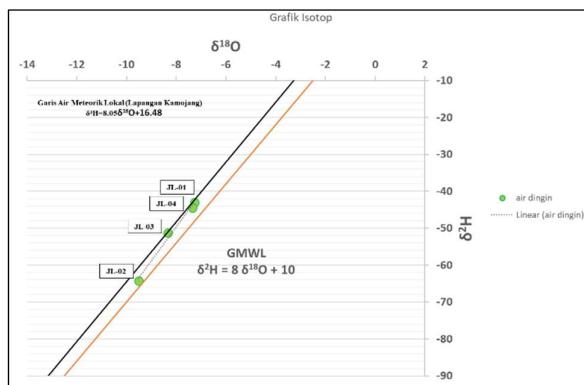
Titik sampel JL-03 dan JL-04 memiliki nilai konsentrasi CaCO₃ yang lebih tinggi juga dibandingkan dengan titik sampel JL-01 dan JL-02. Selain bersumber alami dari tanah, Ca²⁺ dapat bersumber dari pembangunan infrastruktur seperti beton. Titik sampel JL-03 dan JL-04 berlokasi pada daerah pemukiman. Beton pada Pembangunan infrastruktur memiliki kandungan kalsium yang dapat dilepaskan baik langsung ke air ataupun ke tanah yang akan bereaksi dengan air sekitarnya. Titik sampel JL-03 dan JL-04 berlokasi pada daerah pemukiman.

- *Isotop*

Berdasarkan diagram isotop, garis meteorik lokal yang digunakan mengacu pada referensi Hendrasto (2005) karena tidak tersedia data isotop air hujan di daerah penelitian. Garis meteorik lokal ini berfungsi sebagai acuan untuk menganalisis hubungan isotop air dengan presipitasi lokal. Selain itu, garis meteorik global (GMWL) digunakan sebagai pembanding untuk memastikan karakteristik isotop air konsisten dengan pola presipitasi umum. Sampel JL-01, JL-03, dan JL-04 berada sangat dekat dengan garis meteorik lokal, yang mengindikasikan bahwa air tersebut memiliki komposisi isotop hampir identik dengan presipitasi lokal. Hal ini menunjukkan bahwa air berasal langsung dari curah hujan tanpa melalui proses sekunder yang signifikan, seperti penguapan, pencampuran dengan sumber air lain, atau interaksi dengan batuan dasar. Di sisi lain, sampel JL-02 sedikit menyimpang dari garis meteorik lokal dengan nilai $\delta^2\text{H}$ yang lebih negatif. Penyimpangan ini kemungkinan disebabkan oleh penguapan minor atau efek fraksinasi isotop selama proses infiltrasi ke dalam tanah. Namun, posisi JL-02 yang tetap dekat dengan garis meteorik lokal menunjukkan bahwa sumber utamanya masih berasal dari presipitasi lokal.

Sumber air di daerah penelitian ini didominasi oleh curah hujan setempat tanpa banyak dipengaruhi oleh proses eksternal. Air yang berada pada semua lokasi titik sampel kemungkinan besar merupakan air tanah dangkal atau air permukaan yang berasal dari proses

pengisian ulang (recharge) langsung oleh presipitasi. Selain itu, tidak ada indikasi interaksi signifikan antara air dengan batuan karbonat atau silikat yang dapat memengaruhi komposisi isotopik. Karakter isotop ini menunjukkan bahwa air relatif segar dan memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber air bersih. Dengan demikian, lingkungan hidrogeologi di lokasi ini mendukung keberadaan sistem air tanah dangkal yang terutama dipengaruhi oleh curah hujan lokal.



Gambar 10. Diagram isotop daerah penelitian

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, air di Eks-TPA Jelekong menunjukkan pH yang cenderung netral dengan beberapa lokasi memiliki pH alkali, seperti di titik JL-02 yang dipengaruhi oleh interaksi dengan litologi andesit. Parameter lain, seperti TDS, menunjukkan adanya lokasi yang tidak memenuhi standar kelayakan konsumsi, seperti di titik JL-04, akibat kontaminasi air lindi. Dalam hal kesetimbangan ion, sebagian besar sampel memiliki keseimbangan ion yang baik, kecuali JL-04 yang menunjukkan nilai tinggi karena kandungan litium (Li^+). Berdasarkan fasies air, sampel di Jelekong adalah Ca-HCO₃ (JL-01, JL-02, JL-03, dan JL-04), sedangkan sampel di Sarimukti memiliki nilai TDS yang sangat tinggi, dengan dominasi ion Na⁺, Cl⁻, dan HCO₃⁻, mencerminkan tingginya konsentrasi zat terlarut akibat akumulasi sampah. Analisis isotop menunjukkan bahwa sebagian besar sampel (JL-01, JL-03, JL-04) berada dekat dengan garis meteorik lokal, mengindikasikan asal presipitasi lokal tanpa pengaruh proses sekunder seperti penguapan, sedangkan JL-02 menunjukkan sedikit penyimpangan yang mungkin disebabkan oleh efek fraksinasi isotop selama infiltrasi. Diagram ion (Piper dan Schoeller) mengungkapkan perbedaan komposisi ion antara lokasi, seperti tingginya konsentrasi HCO₃⁻, Ca²⁺, dan Na⁺ di Jelekong, serta tingginya NH₄⁺, Cl⁻, dan Na⁺ di Sarimukti, yang dipengaruhi oleh aktivitas antropogenik dan proses geokimia lokal.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Akram, W., Tariq, J. A., & Ahmad, M. (2011). Major ion chemistry and quality assessment of groundwater in Haripur area (No. PINSTECH--222). Pakistan Institute of Nuclear Science and Technology.
- Hendrasto, F., 2005. Penentuan Daerah Resapan Sistem Panasbumi Gunung Wayang Windu, Jawa Barat. Institut Teknologi Bandung.
- Nicholson, K. (1993). Geothermal Fluids: Chemistry and Exploration Techniques. Berlin: Springer.
- Pokja AMPL. (2005). Masa Pakai TPA Jelekong Segera Berakhir. Pikiran Rakyat. Diakses pada 30 Desember 2024, dari laman [http://www.ampl.or.id/digilib/read/masa-pakai\(tpa-jelekong-segera-berakhir/45296](http://www.ampl.or.id/digilib/read/masa-pakai(tpa-jelekong-segera-berakhir/45296).
- Yolanda, D. S., Muhsoni, F. F., & Siswanto, A. D. (2016). Distribusi nitrat, oksigen terlarut, dan suhu di perairan Socah-Kamal Kabupaten Bangkalan. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 9(2), 93-98.