

Kualitas Air Tanah dan Peta Sebaran Kualitasnya di Sekitar Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Galuga

Sri Melianti Rahayu^{1*}, Farid Ramadhan², Teti Syahrulyati³, Sutanto⁴

^{1,2,3}Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,

Universitas Pakuan, Bogor, Indonesia

Email: ¹smelianir@gmail.com, ²faridramadhan42@gmail.com, ³tetisyahrulyati@unpak.ac.id,

⁴sutanto_psl@yahoo.co.id

Abstract

The increasing population has resulted in a higher volume of waste at the Galuga landfill, generating leachate that potentially contaminates the surrounding shallow groundwater. Groundwater serves as a crucial source for domestic needs; thus, its contamination poses serious health risks and threatens ecological balance. This study aims to analyze the quality of shallow groundwater around the Galuga landfill and to map its spatial distribution as a foundation for sustainable environmental monitoring and management. The research methods included collecting groundwater samples from seven representative points along the groundwater flow direction, analyzing physical parameters (temperature, pH, turbidity), chemical parameters (Fe, Mn, NO₃⁻, and Cl⁻), and microbiological parameters (E. coli and total coliform), followed by calculating the Water Quality Index (WQI) using the NSF-WQI method. The findings revealed that several parameters, particularly Fe, Mn, E. coli, and total coliform, exceeded the permissible drinking water standards established by the Indonesian Ministry of Health Regulation No. 492/Menkes/Per/IV/2010. The average WQI score of 61.30 indicates a moderate water quality category. Therefore, it can be concluded that the shallow groundwater surrounding the Galuga landfill has been contaminated and is not suitable for direct consumption as drinking water. Consequently, it is recommended to implement more effective leachate management systems and conduct regular groundwater quality monitoring to prevent further contamination and safeguard community health and environmental sustainability.

Keywords: Groundwater, Leachate, TPA Galuga, Water quality, WQI.

Abstrak

Peningkatan jumlah penduduk menyebabkan peningkatan volume timbunan sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Galuga, yang menghasilkan lindi (leachate) berpotensi mencemari air tanah dangkal di sekitarnya. Air tanah memiliki peran penting dalam memenuhi kebutuhan domestik masyarakat, sehingga pencemaran air tanah dapat menimbulkan risiko kesehatan dan mengganggu keseimbangan ekosistem. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas air tanah dangkal di sekitar TPA Galuga serta memetakan sebaran kualitasnya sebagai dasar untuk kegiatan pemantauan dan pengelolaan lingkungan berkelanjutan. Metode penelitian meliputi pengambilan sampel air tanah dari tujuh titik yang mewakili arah aliran air tanah, analisis parameter fisik (suhu, pH, kekeruhan), kimia (Fe, Mn, NO₃⁻, dan Cl⁻), serta mikrobiologis (E. coli dan total coliform), dan perhitungan *Water Quality Index* (WQI) menggunakan metode NSF-WQI. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beberapa parameter, khususnya kandungan Fe, Mn, E. coli, dan total coliform, melebihi baku mutu air minum yang ditetapkan oleh Permenkes No. 492/Menkes/Per/IV/2010. Nilai rata-rata WQI sebesar 61,30 termasuk dalam kategori sedang (moderate). Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa air tanah dangkal di sekitar TPA Galuga telah mengalami pencemaran dan tidak layak untuk dikonsumsi langsung sebagai air minum. Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan lindi yang lebih efektif serta pengawasan kualitas air tanah secara berkala untuk mencegah peningkatan tingkat pencemaran di masa mendatang.

Kata kunci: Air tanah, IKA, Kualitas air, Lindi, TPA Galuga.

1. PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah penduduk dan aktivitas perkotaan di Indonesia berdampak signifikan terhadap peningkatan volume timbunan sampah yang dihasilkan setiap harinya. Berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK, 2023), volume timbunan sampah nasional telah mencapai lebih dari 21 juta ton per tahun, dengan komposisi dominan berasal dari rumah tangga dan pasar tradisional. Apabila tidak dikelola secara efektif, akumulasi sampah tersebut berpotensi menimbulkan permasalahan lingkungan serius, seperti pencemaran air akibat perembesan *leachate* (lindi) dari tempat pembuangan akhir (TPA). Pencemaran ini dapat menurunkan kualitas air tanah maupun air permukaan yang digunakan untuk kebutuhan domestik, seperti air minum dan sanitasi rumah tangga (Syahrulyati, 2005). Kondisi ini menuntut adanya pengelolaan terpadu yang memperhatikan aspek lingkungan dan kesehatan masyarakat.

Lindi merupakan hasil dekomposisi bahan organik dalam sampah yang mengandung senyawa berbahaya, termasuk logam berat, amonia, dan nitrat (Yudhyarto, Utomo, & Sulastro, 2015). Ketika tidak diolah dengan sistem penampungan dan pengolahan yang memadai, lindi dapat meresap ke dalam lapisan tanah dan mencemari air tanah, khususnya di daerah dengan curah hujan tinggi dan karakteristik geologi yang permeabel (Fitri, 2012). Dampak pencemaran ini meliputi penurunan kualitas fisik, kimia, dan biologis air, serta meningkatnya risiko gangguan kesehatan, seperti keracunan logam berat, gangguan pencernaan, dan penyakit kulit. Oleh karena itu, pemantauan kualitas air tanah di sekitar TPA menjadi aspek penting dalam menjaga keberlanjutan lingkungan. Pendekatan ilmiah yang menggabungkan aspek hidrogeologi dan toksikologi lingkungan diperlukan untuk memahami dinamika pencemaran tersebut secara menyeluruh.

Salah satu kawasan yang menghadapi permasalahan pencemaran lindi adalah TPA Galuga di Kabupaten Bogor, yang menjadi lokasi pembuangan akhir bagi sampah dari Kabupaten dan Kota Bogor. Berdasarkan laporan Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Bogor (2023), volume sampah yang masuk ke TPA Galuga mencapai lebih dari 900 ton per hari, dengan komposisi didominasi oleh sampah organik ($\pm 60\%$), plastik ($\pm 14\%$), dan kertas ($\pm 12\%$). Peningkatan volume sampah ini belum diimbangi dengan sistem pengolahan lindi yang memadai, sehingga menimbulkan potensi pencemaran air tanah di sekitarnya. Penelitian Kurniawan (2006) menunjukkan bahwa Indeks Kualitas Air di sekitar TPA Galuga mencapai nilai rata-rata 48,65, menandakan air tersebut tidak layak untuk dikonsumsi. Temuan serupa diungkapkan oleh Utomo (2015) dan Teti Syahrulyati et al. (2007), yang mendeteksi kandungan timbal (Pb) dan nitrat (NO_3^-) melebihi baku mutu air minum serta menunjukkan pola aliran air bawah tanah yang menyebabkan pencemaran bersifat permanen di beberapa wilayah.

Namun, hasil penelitian terdahulu tersebut telah berusia hampir dua dekade dan belum merepresentasikan kondisi terkini, mengingat peningkatan signifikan volume sampah serta perubahan morfologi lahan di sekitar TPA Galuga. Celah penelitian (*research gap*) muncul karena belum adanya kajian terbaru yang mengintegrasikan analisis kualitas air tanah dengan pemetaan spasial berbasis data aktual tahun 2024. Sebagian besar penelitian sebelumnya hanya menyoroti parameter kualitas air tanpa mengidentifikasi sumber pencemar dominan maupun melakukan validasi spasial secara sistematis. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas fisik, kimia, dan biologis air tanah di sekitar TPA Galuga tahun 2024, memetakan sebaran spasial pencemaran lindi menggunakan data geospasial, serta mengidentifikasi sumber pencemar dominan. Penelitian ini diharapkan dapat memperkuat dasar ilmiah bagi pengelolaan lingkungan dan kebijakan mitigasi pencemaran air tanah secara berkelanjutan di kawasan TPA.

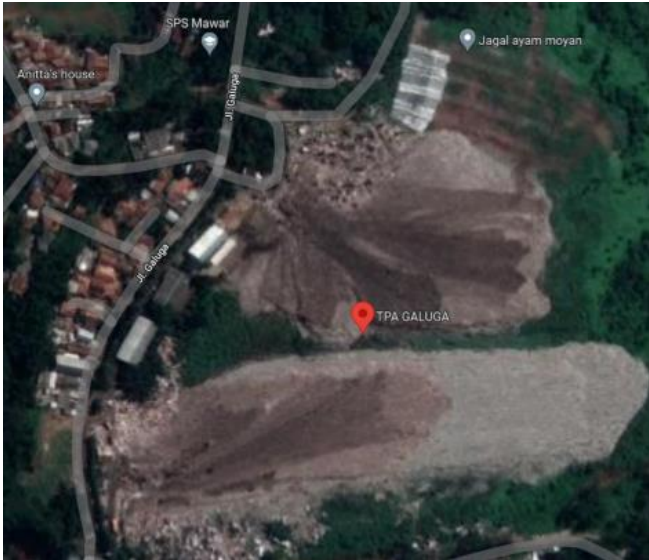
2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan berbagai bahan untuk menganalisis kualitas air tanah dangkal di sekitar Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Galuga, Kabupaten Bogor. Bahan utama mencakup *aquadest*, larutan penyangga pH, serta media penyaring mikro *glass-fiber* dan *membrane filter* dengan ukuran pori berbeda untuk memastikan efisiensi filtrasi. Selain itu, digunakan pula berbagai pereaksi kimia seperti HNO_3 , H_2SO_4 , NaOH , dan HCl untuk analisis kandungan logam serta senyawa anorganik. Media mikrobiologi seperti *m-Endo agar* dan *m-FC agar* digunakan dalam pengujian bakteri *Escherichia coli* dan *total coliform* sesuai standar metode. Seluruh bahan penelitian memiliki kualitas *analytical grade* untuk menjaga ketepatan dan validitas hasil pengujian laboratorium.

Lokasi penelitian ditetapkan di kawasan sekitar TPA Galuga, Kecamatan Cibungbulang, dengan tujuh titik pengamatan yang mewakili variasi jarak dan arah terhadap aliran air lindi. Setiap titik diidentifikasi menggunakan koordinat GPS dan divisualisasikan dalam peta lokasi pengambilan sampel berbasis citra satelit (Citra Satelit 2023 CNES Googlemap, 2025). Pengambilan sampel dilakukan dengan *bailer* dan disimpan dalam botol polietilena (PE) yang telah dipreparasi dengan HNO_3 10% sesuai dengan prosedur SNI 6989.57:2008 dan *APHA Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (2023). Sampel diawetkan dengan berbagai larutan kimia tergantung pada parameter yang diuji dan disimpan dalam suhu terkontrol $\pm 6^\circ\text{C}$ selama transportasi. Proses analisis laboratorium dilakukan maksimal 24 jam setelah pengambilan guna menjaga keaslian sampel.

Analisis kualitas air meliputi parameter fisika, kimia, dan mikrobiologi sesuai standar nasional dan internasional. Parameter fisika seperti suhu, pH, warna, dan TDS diuji menggunakan metode SNI 06-6989.11:2004 hingga SNI 6989.77:2011, sedangkan parameter kimia seperti nitrat, nitrit, fosfat, Fe, Mn, dan Cr^{6+} dianalisis dengan spektrofotometri UV-Vis dan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) berdasarkan SNI 6989.79:2011 serta *APHA 3111B*. Pengujian mikrobiologi untuk *E. coli* dan *total coliform* dilakukan dengan metode *membrane filter* mengacu pada SNI 6774:2008 menggunakan media *m-Endo agar* dan *m-FC agar*. Parameter tambahan berupa *Total Suspended Solid* (TSS) juga dianalisis menurut SNI 06-6989.3:2004 untuk melengkapi karakteristik kualitas air. Seluruh peralatan pengujian dikalibrasi terlebih dahulu untuk memastikan reliabilitas data.

Data hasil laboratorium diolah secara deskriptif dan dibandingkan dengan baku mutu air minum berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 Lampiran 5. Kualitas air dinilai menggunakan metode *National Sanitation Foundation Water Quality Index* (NSF-WQI) dengan tujuh parameter utama, yaitu pH, suhu, total fosfat, nitrat, kekeruhan, total padatan terlarut (TDS), dan *E. coli*, sebagaimana dimodifikasi dari bobot asli NSF-WQI (Effendi, 2015). Penentuan bobot dilakukan agar representatif terhadap kondisi lokal dan mencakup aspek fisika, kimia, serta mikrobiologi. Nilai subindeks setiap parameter dihitung menggunakan kalkulator daring NSF-WQI (waterresearch.net) dan dikategorikan berdasarkan kriteria mutu air antara 0–100. Hasil analisis kemudian divisualisasikan untuk menunjukkan distribusi spasial kualitas air tanah dangkal di sekitar TPA Galuga dengan memperhatikan jarak terhadap saluran air lindi sebagai titik acuan nol.



Gambar 1. Peta Area TPA Galuga (Sumber: Citra Satelit 2023 CNES Googlemap, 2025)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada air sumur dan mata air di sekitar Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Galuga yang terletak di Kampung Lalampingan, Desa Galuga, Kecamatan Cibungbulang, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat. TPA Galuga telah beroperasi selama kurang lebih 38 tahun dengan luas area 27,8 hektare yang mencakup zona pembuangan utama, instalasi pengolahan air limbah (IPAL), serta berbagai fasilitas pendukung operasional. Secara geografis, wilayah penelitian berbatasan dengan Desa Cijujung di utara, Kampung Cimanggis di timur, Kampung Lalampingan di barat, dan Kampung Moyan di selatan. Pengambilan sampel dilakukan pada tujuh titik pengamatan (AB1–AB7) dengan radius kurang dari 1,1 km dari IPAL, pada ketinggian 188–198 mdpl, dan jarak 267–1.060 meter dari pusat pengolahan limbah; seluruh sumber air tersebut digunakan masyarakat setempat untuk kebutuhan domestik, pertanian, dan peternakan..

3.2 Kualitas Air Tanah di Sekitar TPA Galuga

Tabel 1. Ringkasan Hasil Analisis Kualitas Air Tanah di Sekitar TPA Galuga Berdasarkan Permenkes No. 2 Tahun 2023

Parameter	Rentang Hasil	Baku Mutu	Jumlah Sampel Tidak Memenuhi	Keterangan Utama
Suhu (°C)	28.1 – 28.8	Suhu udara ±3°C (25°C)	7 dari 7	Seluruh sampel melebihi batas; dipengaruhi radiasi dan emisi metana.
pH	4.75 – 8.1	6.5 – 8.5	2 dari 7	AB-6 dan AB-7 bersifat asam; indikasi aktivitas biologis dan pelarutan logam.
Kekeruhan (NTU)	2.58 – 20.7	<3	3 dari 7	AB-5, AB-6, AB-7 melebihi batas; indikasi gangguan antropogenik.
TDS (mg/L)	70 – 598	<300	1 dari 7	AB-1 melebihi ambang; potensi kontaminasi domestik/industri.
Warna (TCU)	<1.2 – 2	10	0	Warna rendah; filtrasi tanah efektif.
Bau	Tidak berbau	Tidak berbau	0	Seluruh sampel memenuhi baku mutu.
Nitrat (mg/L)	4.8 – 16	20	0	Semua di bawah ambang batas.

Nitrit (mg/L)	<0.002 – 0.02	3	0	Aman; tidak ada peningkatan signifikan.
Krom Heksavalen (Cr ⁶⁺ , mg/L)	0.003 – 0.013	0.01	3 dari 7	AB-2, AB-6, AB-7 melebihi ambang; indikasi pencemaran logam berat.
Klor bebas (mg/L)	0.03 – 0.13	0.2 – 0.5	0	Masih aman, tetapi perlu pengawasan berkala.
Fe (mg/L)	0.098 – 0.47	0.2	5 dari 7	Tinggi pada AB-3–AB-7; indikasi korosi atau aktivitas antropogenik.
Mn (mg/L)	<0.007 – 1.25	0.1	4 dari 7	Kandungan Mn tinggi; indikasi kontaminasi logam berat.
<i>E. coli</i> (CFU/100 mL)	0 – 100,000	0	1 dari 7	AB-6 tercemar berat; indikasi kontaminasi fekal.
Total Coliform (CFU/100 mL)	0 – 100,000	0	1 dari 7	AB-6 tercemar; dipengaruhi septic tank dan limbah ternak.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar parameter fisik dan kimia air tanah di sekitar TPA Galuga masih berada dalam batas baku mutu yang ditetapkan oleh *Permenkes No. 2 Tahun 2023*. Namun, beberapa parameter seperti suhu, pH, kekeruhan, kadar logam berat (Fe, Mn, Cr⁶⁺), serta cemaran mikrobiologis (*E. coli* dan *Total Coliform*) menunjukkan penyimpangan signifikan pada titik-titik tertentu. Peningkatan suhu dan kekeruhan kemungkinan besar disebabkan oleh pengaruh radiasi matahari, proses dekomposisi lindi, serta aktivitas antropogenik di sekitar lokasi penelitian.

Selain itu, tingginya kadar Fe, Mn, dan Cr⁶⁺ pada beberapa titik menunjukkan adanya potensi kontaminasi logam berat yang dapat berasal dari korosi pipa, pelapukan batuan, maupun aktivitas industri dan pertanian di sekitar TPA. Kandungan *E. coli* dan *Total Coliform* yang sangat tinggi pada titik AB-6 mengindikasikan adanya infiltrasi limbah fekal dari septic tank dan kandang ternak ke sistem air tanah. Kondisi tersebut menegaskan bahwa aktivitas manusia dan tata letak lingkungan permukiman menjadi faktor penting dalam menurunkan kualitas air tanah di wilayah penelitian.

Secara keseluruhan, kualitas air tanah di sekitar TPA Galuga menunjukkan gejala pencemaran moderat hingga berat pada beberapa parameter utama, terutama pada titik yang berdekatan dengan sumber kontaminan antropogenik. Walaupun sebagian besar parameter kimia seperti nitrat, nitrit, dan klor masih dalam batas aman, keberadaan logam berat dan cemaran mikrobiologis menimbulkan potensi risiko kesehatan masyarakat. Hasil ini menegaskan pentingnya penerapan sistem pengelolaan air lindi yang lebih efektif serta penataan ruang permukiman di sekitar TPA. Dengan demikian, pengawasan kualitas air tanah secara berkala dan kebijakan mitigasi pencemaran menjadi langkah strategis untuk menjaga keberlanjutan sumber air bersih.

3.3 Indeks Kualitas Air Tanah di sekitar TPA Galuga

Kualitas suatu air dapat ditentukan dengan melakukan suatu pengukuran terhadap Intensitas parameter fisik, kimia, dan biologi atau mikrobiologi yang mengacu pada pedoman Indeks Mutu Lingkungan Perairan (IMLP). Pedoman ini didasarkan pada National Sanitation Foundation - Water Quality Index (NSF-WQI) (Suprihatin, 1992) yang dikembangkan menggunakan Metode Delphi oleh Rand Corporation (1968).

Tabel 19. Hasil Perhitungan Indeks Kualitas Air Tanah di sekitar TPA Galuga

Parameter	Titik Sampling	Wi	Qi	Wi x Qi
	AB1			
Temperatur	28.3	0.14	93	13.02
DO	Na	0	0	0.00
BOD	Na	0	0	0.00

pH	8.1	0.15	80	12.00
Total Solid	598	0.11	20	2.20
Turbiditas	2.90	0.12	83	9.96
NO ₃	14	0.14	45	6.30
E.Coli	0	0.2	0	0.00
Total fosfat	0.06	0.14	97.72	13.68
Total		1		57.16
Parameter	Titik Sampling	Wi	Qi	Wi x Qi
AB 2				
Temperatur	28.2	0.14	93	13.02
DO	Na	0	0	0.00
BOD	Na	0	0	0.00
pH	6.5	0.15	72	10.80
Total Solid	70	0.11	86	9.46
Turbiditas	2.90	0.12	77	9.24
NO ₃	5	0.14	65	9.10
E.Coli	0	0.2	0	0.00
Fosfat	0.057	0.14	97.04	13.59
Total		1		65.21
Parameter	Titik Sampling	Wi	Qi	Wi x Qi
AB 3				
Temperatur	28.6	0.14	93	13.02
DO	Na	0	0	0.00
BOD	Na	0	0	0.00
pH	7.8	0.15	90	13.50
Total Solid	74	0.11	86	9.46
Turbiditas	2.80	0.12	87	10.44
NO ₃	8	0.14	56	7.84
E.Coli	0	0.2	0	0.00
Fosfat	0.087	0.14	96.52	13.51
Total		1		67.77
Parameter	Titik Sampling	Wi	Qi	Wi x Qi
AB 4				
Temperatur	28.5	0.14	93	13.02
DO	Na	0	0	0.00
BOD	Na	0	0	0.00
pH	8.10	0.15	80	12.00
Total Solid	130	0.11	81	8.91
Turbiditas	2.70	0.12	60	7.20
NO ₃	4.8	0.14	66	9.24
E.Coli	0	0.2	0	0.00
Fosfat	0.092	0.14	96.32	13.48
Total		1		63.85
Parameter	Titik Sampling	Wi	Qi	Wi x Qi
AB 5				
Temperatur	28.7	0.14	93	13.02
DO	Na	0	0	0.00
BOD	Na	0	0	0.00
pH	6.60	0.15	75	11.25
Total Solid	94	0.11	84	9.24
Turbiditas	20.70	0.12	52	6.24
NO ₃	9.60	0.14	52	7.28
E.Coli	0	0.2	0	0.00
Fosfat	0.074	0.14	97.04	13.59
Total		1		60.62
Parameter	Titik Sampling	Wi	Qi	Wi x Qi
AB 6				

Temperatur	28.7	0.14	93	13.02
DO	Na	0	0	0.00
BOD	Na	0	0	0.00
pH	6.20	0.15	60	9.00
Total Solid	172	0.11	76	8.36
Turbiditas	5.30	0.12	96	11.52
NO3	8.60	0.14	54	7.56
E.Coli	100000	0.2	4	0.80
Fosfat	0.0897	0.14	96.41	13.50
Total		1		63.76
Parameter	Titik Sampling	Wi	Qi	Wi x Qi
	AB 7			
Temperatur	28.8	0.14	93	13.02
DO	Na	0	0	0.00
BOD	Na	0	0	0.00
pH	4.75	0.15	19	2.85
Total Solid	134	0.11	80	8.80
Turbiditas	9.20	0.12	56	6.72
NO3	16.00	0.14	42	5.88
E.Coli	0	0.2	0	0.00
Fosfat	0.09	0.14	96.4	13.50
Total		1		50.77

Hasil analisis kualitas air tanah di sekitar TPA Galuga dengan pendekatan *Indeks Mutu Lingkungan Perairan* (IMLP) yang mengacu pada NSF-WQI menunjukkan bahwa skor rata-rata WQI sebesar 61,30 berada pada kategori sedang, yang berarti air tanah di wilayah tersebut masih layak untuk penggunaan domestik non-konsumsi tetapi belum memenuhi standar sebagai air minum tanpa pengolahan lebih lanjut. Nilai WQI tertinggi pada titik AB-3 (67,77) dan terendah pada AB-7 (50,77) mencerminkan adanya variasi spasial pengaruh pencemaran lokal terhadap intensitas penurunan mutu air. Hasil ini sejalan dengan temuan banyak studi yang menggunakan WQI atau GWQI dalam evaluasi kualitas air tanah, di mana beberapa sampel tergolong sedang hingga kurang baik dan memerlukan intervensi pengelolaan (Elemile et al., 2022). Penelitian lain yang melaporkan variasi mutu air tanah yang signifikan antar titik sampel (Zohud et al., 2023). Oleh karena itu, interpretasi hasil ini mendukung rekomendasi agar pengolahan air dan pemantauan mutu dilakukan secara kontinu guna menjaga keberlanjutan sumber air tanah di kawasan TPA Galuga.

Analisis perbandingan nilai Water Quality Index (WQI) antar titik sampel menunjukkan bahwa kualitas air menurun secara signifikan pada titik AB-7, yang terletak paling dekat dengan arah aliran lindi dari IPAL Outlet TPA Galuga. Nilai WQI sebesar 50,77 pada titik ini mengindikasikan bahwa titik ini mengalami tekanan pencemaran paling besar, dengan parameter pH (4,75) menjadi faktor utama penurunan nilai indeks. Nilai pH yang terlalu asam ini diduga kuat akibat infiltrasi lindi yang mengandung bahan organik terdegradasi serta logam berat seperti Fe dan Mn, yang meningkatkan keasaman tanah dan air bawah permukaan (Suyasa & Puspitasari, 2020). Sebaliknya, titik AB-3 dengan nilai WQI 67,77 menunjukkan kondisi air yang relatif lebih baik, kemungkinan karena posisinya yang lebih jauh dari sumber rembesan dan berada pada kontur tanah yang lebih tinggi, sehingga aliran lindi tidak mudah mencapai lapisan air tanah di titik tersebut. Secara spasial, hasil pemetaan menggunakan ArcGIS memperlihatkan bahwa arah aliran air tanah bergerak dari selatan ke utara mengikuti topografi wilayah, sejalan dengan arah aliran IPAL Outlet yang berujung ke Sungai Ciaruten. Titik-titik dengan nilai WQI lebih rendah (AB-1, AB-5, AB-7) terletak di sepanjang jalur ini, memperkuat dugaan adanya hubungan langsung antara sebaran pencemaran dengan aliran lindi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas air tanah di sekitar Tempat Pembuangan Akhir (TPA) mengalami penurunan signifikan, dengan parameter pH, total padatan terlarut (TDS), dan kekeruhan (turbidity) melebihi batas baku mutu air bersih menurut Peraturan Menteri Kesehatan No. 32 Tahun 2017. Nilai pH terendah tercatat pada titik AB-7 sebesar 4,75, mengindikasikan kondisi air yang asam akibat degradasi bahan organik dalam sampah yang menghasilkan asam organik serta senyawa logam seperti besi (Fe) dan mangan (Mn) yang larut dalam kondisi anaerob (Kurniawan et al., 2010). Kandungan TDS tertinggi ditemukan pada titik AB-6 sebesar 172 mg/L, yang menunjukkan adanya partikel tersuspensi dan terlarut dari aktivitas biologis dan kimiawi lindi, serta infiltrasi lindi yang membawa residu organik dan mineral terlarut ke dalam akuifer dangkal (Batool et al., 2023). Selain itu, nilai kekeruhan tertinggi tercatat pada titik AB-5 sebesar 20,70 NTU, melebihi ambang batas 5 NTU, yang mengindikasikan adanya kontaminasi partikulat halus dari partikel koloid organik dan mineral logam terlarut dari lindi, yang dapat menurunkan efektivitas disinfektan alami dan memperburuk kualitas air tanah secara mikrobiologis (Alizamir et al., 2023).

Beberapa parameter menunjukkan nilai yang melampaui baku mutu air bersih berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan No. 32 Tahun 2017, khususnya pada aspek pH, total padatan terlarut (*Total Solids*), dan kekeruhan (*turbidity*).

1. pH

Nilai pH pada titik AB-7 sebesar 4,75 menunjukkan kondisi air yang asam, di bawah kisaran ideal (6,5–8,5). Keasaman ini disebabkan oleh proses degradasi bahan organik dalam tumpukan sampah yang menghasilkan asam organik serta senyawa logam seperti besi (Fe) dan mangan (Mn) yang larut dalam kondisi anaerob. Menurut Kurniawan et al. (2019), keberadaan logam berat dalam lindi dapat menurunkan pH air tanah melalui reaksi oksidasi-reduksi dan mempercepat korosi sumur.

2. Total Solid (TS)

Nilai *Total Solid* tertinggi ditemukan pada titik AB-6 sebesar 172 mg/L, mendekati batas ambang kualitas air bersih. Tingginya nilai ini mengindikasikan adanya partikel tersuspensi dan terlarut yang berasal dari aktivitas biologis dan kimiawi lindi. Proses infiltrasi lindi membawa residu organik serta mineral terlarut ke dalam akuifer dangkal, menyebabkan peningkatan kadar TDS dan TSS di beberapa titik pengamatan.

3. Kekeruhan (Turbiditas)

Nilai kekeruhan tertinggi ditemukan pada titik AB-5 (20,70 NTU), melebihi ambang batas 5 NTU. Kondisi ini mengindikasikan adanya kontaminasi partikulat halus, kemungkinan berasal dari partikel koloid organik dan mineral logam terlarut dari lindi. Air dengan tingkat kekeruhan tinggi berpotensi menurunkan efektivitas disinfektan alami dan memperburuk kualitas air tanah secara mikrobiologis.

4. Nitrat (NO_3^-)

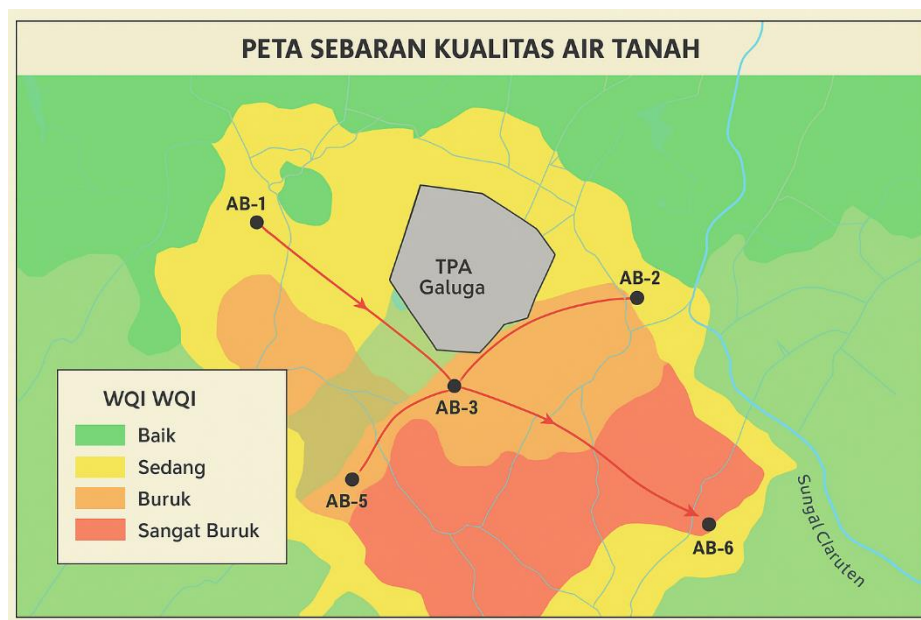
Konsentrasi nitrat tertinggi tercatat di titik AB-1 (14 mg/L), masih di bawah ambang batas 50 mg/L. Namun, peningkatan kandungan nitrat menunjukkan adanya potensi pencemaran dari sisa dekomposisi bahan organik dan aktivitas domestik masyarakat di sekitar TPA. Penelitian oleh Nuraini et al. (2021) menyebutkan bahwa infiltrasi lindi kaya amonia dan nitrat sering kali terjadi pada lapisan akuifer dangkal di sekitar TPA yang memiliki konstruksi dasar terbuka.

5. Fosfat (PO_4^{3-})

Kandungan fosfat pada seluruh titik berkisar antara 0,057–0,092 mg/L dengan nilai tertinggi pada AB-4 (0,092 mg/L). Fosfat kemungkinan berasal dari detergen dan limbah rumah tangga masyarakat sekitar. Meskipun relatif rendah, akumulasi fosfat dalam air tanah dapat meningkatkan eutrofikasi di badan air permukaan yang menerima limpasan dari wilayah ini.

Parameter *Escherichia coli* (*E. coli*) pada titik AB-6 menunjukkan konsentrasi yang sangat tinggi, mencapai 100.000 koloni/100 mL, mengindikasikan adanya kontaminasi mikrobiologis yang signifikan. Tingginya kadar *E. coli* ini menandakan masuknya limbah organik atau tinja manusia dan hewan ke dalam lapisan air tanah, yang dapat disebabkan oleh konstruksi sumur gali yang sederhana dan tanpa pelapis beton. Kondisi tersebut memudahkan air lindi dan limpasan hujan meresap ke akuifer dangkal, meningkatkan potensi kontaminasi mikroba. Penelitian oleh Syifa et al. (2025) menunjukkan bahwa kedekatan sumur dengan septic tank berpengaruh signifikan terhadap tingkat kontaminasi *E. coli* di Jakarta Pusat, Jakarta Timur, dan Jakarta Barat, meskipun tidak ditemukan pengaruh di Jakarta Utara. Selain itu, penelitian oleh Hamal et al. (2025) di Nepal juga mengungkapkan bahwa sumur dangkal di daerah pedesaan dan semi-perkotaan memiliki tingkat kontaminasi *E. coli* yang tinggi, terutama pada musim pra-musim hujan, yang berisiko terhadap kesehatan masyarakat.

Secara hidrogeologis, mekanisme kontaminasi air tanah di sekitar TPA Galuga dipengaruhi oleh tiga faktor utama: (1) infiltrasi vertikal lindi ke lapisan akuifer dangkal melalui tanah berpermeabilitas tinggi, (2) aliran horizontal lindi mengikuti gradien topografi ke arah utara, dan (3) kurangnya sistem pengolahan dan saluran tertutup untuk air lindi. Secara spasial, area di sisi utara dan timur laut TPA menunjukkan nilai WQI lebih rendah dibandingkan sisi barat dan selatan. Pola ini konsisten dengan arah aliran lindi dari IPAL Outlet TPA Galuga ke Sungai Ciaruten. Selain itu, kepadatan penduduk yang tinggi dan pembuangan limbah domestik tanpa pengolahan memperparah beban pencemaran di lapisan air tanah dangkal. Penelitian oleh Abiriga (2020) menunjukkan bahwa faktor usia sampah dan penutupan TPA mempengaruhi kualitas air tanah, dengan peningkatan konsentrasi polutan seiring waktu. Studi oleh Syahrulyati (2020) juga menemukan bahwa area sekitar TPA Galuga mengalami pencemaran permanen pada lapisan air tanah dangkal, dengan indeks polutan mencapai 180% hingga 200%.



Gambar 2. Analisis ArcGIS Peta Sebaran Kualitas Air Tanah

Secara hidrogeologis, mekanisme kontaminasi air tanah di sekitar TPA Galuga dipengaruhi oleh tiga faktor utama: (1) infiltrasi vertikal lindi ke lapisan akuifer dangkal melalui tanah berpermeabilitas tinggi, (2) aliran horizontal lindi mengikuti gradien topografi ke arah utara, dan (3) kurangnya sistem pengolahan dan saluran tertutup untuk air lindi. Kondisi ini diperkuat oleh hasil analisis *ArcGIS*, yang memperlihatkan

konsentrasi pencemaran tertinggi pada radius <500 meter dari titik pembuangan utama, bertepatan dengan titik AB-7 dan AB-5. Secara spasial, area di sisi utara dan timur laut TPA menunjukkan nilai WQI lebih rendah dibandingkan sisi barat dan selatan. Pola ini konsisten dengan arah aliran lindi dari IPAL Outlet TPA Galuga ke Sungai Ciaruten. Selain itu, kepadatan penduduk yang tinggi dan pembuangan limbah domestik tanpa pengolahan memperparah beban pencemaran di lapisan air tanah dangkal.

Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa kualitas air tanah di sekitar TPA Galuga berada pada kategori sedang, namun menunjukkan indikasi penurunan kualitas terutama di wilayah dengan elevasi rendah dan jarak dekat dari aliran lindi. Parameter paling berpengaruh terhadap rendahnya nilai WQI adalah pH, kekeruhan, *Total Solid*, dan kontaminasi mikrobiologis. Mekanisme utama pencemarannya berasal dari infiltrasi air lindi yang belum diolah optimal dan limbah domestik masyarakat sekitar. Sebagai tindak lanjut, disarankan agar pengelolaan lindi di TPA Galuga diperbaiki melalui sistem *leachate recirculation* tertutup dan peningkatan kapasitas IPAL. Selain itu, masyarakat di sekitar lokasi perlu diarahkan untuk memperbaiki konstruksi sumur dengan pelapis beton dan menerapkan sistem sanitasi tertutup. Pengawasan berkala terhadap parameter kimia dan mikrobiologi air tanah juga penting untuk memastikan keberlanjutan kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kualitas air tanah dangkal di sekitar TPA Galuga umumnya berada pada kategori sedang dengan nilai Indeks Kualitas Air (IKA) rata-rata sebesar 61,30. Beberapa parameter melebihi baku mutu air minum Permenkes No. 2 Tahun 2023, di antaranya suhu, kekeruhan, TDS, Fe, Mn, serta kontaminasi *E. coli* dan total koliform pada titik AB-6. Kondisi ini menandakan adanya pengaruh pencemaran lindi dari TPA Galuga terhadap air tanah dangkal di sekitarnya, terutama di wilayah yang berdekatan dengan saluran IPAL outlet. Oleh karena itu, air tanah di wilayah tersebut tidak layak langsung dikonsumsi tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu agar aman digunakan sebagai air minum.

Temuan ini menyoroti kebutuhan mendesak untuk pemantauan kualitas air tanah secara berkala dan penerapan sistem pengelolaan lindi yang lebih baik di TPA Galuga. Penelitian di masa mendatang sebaiknya memperluas jumlah titik pengambilan sampel, menyertakan data variasi musiman, dan menganalisis parameter tambahan seperti logam berat dan polutan organik persisten untuk mendapatkan pemahaman yang lebih komprehensif tentang kontaminasi air tanah. Kolaborasi dengan pemerintah daerah dan edukasi masyarakat tentang perlindungan air tanah juga perlu diperkuat.

REFERENCES

- Abiriga, D. (2020). *Groundwater contamination from a municipal landfill: Effect of waste age, landfill closure, and season*. Science of The Total Environment, 740, 139953. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139953>
- A. Amaliah. 2012. *Analisis Kadar Fosfat, Klorida Dan Timbal Dalam Air Sungai Mamasa Di Kabupaten Mamasa*. Universitas Hasanuddin.
- Abbasi, T., Abbasi, S.A. 2012. *Water Quality Indices*. Elsevier, Amsterdam, Netherland, pp. 384.
- Achmadi, Umar Fahmi. 2008. *Manajemen Penyakit Berbasis Wilayah*. Jakarta: Penerbit Buku Kompas.
- Alamsyah, S. 2006. *Merakit Sendiri Alat Penjernihan Air Untuk Rumah Tangga*. Jakarta: Kawan Pustaka.

- Alizamir, M., et al. (2023). *Investigating Landfill Leachate and Groundwater Quality Using Hybrid Machine Learning Models*. Water, 15(13), 2453. <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/13/2453>
- Anonymous. 2010. *Total Dissolved Solids*. Diakses dari http://en.wikipedia.org/wiki/Total_dissolved_solids
- Arisman. 2010. *Gizi dalam Daur Kehidupan*. Jakarta: Ilmu Kedokteran EGC.
- Asmadi, Khayan, H. S. Kasjono. 2011. *Teknologi Pengolahan Air Minum*. Yogyakarta: Gosyen Publishing.
- Azizah, Siti Nur. 2016. *Penentuan Penyebaran Lindi Pada Bawah Permukaan Dengan Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner Schlumberger di TPA Sampah Desa Bandengan Kabupaten Jepara*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Batool, F., Shah, S. M., & Khan, S. (2023). *Fixed-Bed Studies of Landfill Leachate Treatment Using Various Adsorbents*. Water, 15(12), 2263. <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/12/2263>
- Chandra, Budiman. 2007. *Pengantar Kesehatan Lingkungan*. Cetakan Pertama. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Chegbele, L. P., Akurugu, B. A., & Yidana, S. M. 2020. Assessment of Groundwater Quality in the Talensi District, Northern Ghana. *The Scientific World Journal*, 2020, 1–24. <https://doi.org/10.1155/2020/8450860>
- Depkes RI. 2011. *Laporan Kesehatan Lingkungan (Riskesdas) Tahun 2010*.
- Dewi, R., et al. 2016. *Penentuan Parameter dan Kurva Sub Indeks dalam Penyusunan Indeks Kualitas Air*. Ecolab, 10(2), 47–102.
- Elemile, O. O., Ibitogbe, E. M., Okikiola, B. T., & Ejigboye, P. O. (2022). Groundwater quality using indices for domestic and irrigation purposes in Akure, Nigeria. *Results in Engineering*, 13, 100347. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100347>
- Elianah. 2016. *Kualitas Air Di Sekitar Tempat Pembuangan Akhir Sampah Galuga, Kec. Cibungbulang, Bogor*. Bogor: Skripsi Fakultas Teknologi Pertanian IPB.
- Fauziah, Adelina. 2010. *Efektivitas Saringan Pasir Cepat Dalam Menurunkan Kadar Mangan (Mn) Pada Air Sumur Dengan Penambahan Kalium Permanganat (KMnO₄) 1%*. Medan: Skripsi FKM USU.
- Febrina L, Astrid Ayuna. 2014. *Studi Penurunan Kadar Besi (Fe) Dan Mangan (Mn) Dalam Air Tanah Menggunakan Saringan Keramik*. Jakarta: Jurnal Teknologi.
- Fitri, R. 2012. *Kajian Air Lindi di Tempat Pembuangan Akhir Terjun Menggunakan Metode Thornwaite*. Medan: Tesis PPs USU.
- Hamal, S., Pant, B., Bist, R., & Adhikari, B. (2025). Escherichia coli Contamination in Shallow Groundwater and Associated Health Risks: A Case from Bedkot Municipality of a Terai Region, Nepal. *Journal of Materials and Environmental Science*, 16(9), 1731-1740.
- Haolina, Gloria A. 2014. *Studi Pengaruh Variasi Jarak Tinjau Terhadap Kualitas Air Tanah Di Sekitar TPA Galuga*. Depok: Universitas Indonesia.
- Ilyas, Nur Ilman, dkk. 2013. *Penurunan Kadar TDS Pada Limbah Tahu Dengan Teknologi Biofilm Menggunakan Media Biofilter Kerikil Hasil Letusan Gunung Merapi Dalam Bentuk Random*. Semarang: Program Studi Teknik Lingkungan Undip.
- Indah, A.Y., Hilda Zulkifli, M. Faisal. 2006. *Kualitas Air Di Sekitar Eks Tempat Pembuangan Akhir Karya Jaya Palembang*. Jurnal Bioscientiae, 12(1), Januari 2015.
- Kartikasari, Rizky Maulina. 2017. *Analisis Resiko Kesehatan Lingkungan Hidrogen Sulfida Pemukiman Di Sekitar TPA Galuga*. Depok: FKM-UI.
- Khopkar, S.M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik* (terjemahan). Jakarta: Universitas Indonesia Press.

- Kurniawan, T. A., Chan, G. Y. S., Lo, W. H., & Babel, S. (2010). *Biological processes for treatment of landfill leachate*. Environmental Science and Technology, 44(3), 1067-1073. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2010/em/c0em00076k>
- Kusnaedi. 2010. *Mengolah Air Kotor Untuk Air Minum*. Jakarta: Penerbit Swadaya.
- Kurniati, S., dkk. 2019. *Analisis Pencemaran Kualitas Air Tanah di Kawasan Pemukiman yang Berada Dekat dengan Tempat Pembuangan Sampah di Kecamatan Nanggalo*. Padang: FMIPA UNDALAS.
- Kurniawan, Bambang. 2006. *Analisis Kualitas Air Sumur Sekitar Wilayah Tempat Pembuangan Akhir Sampah (Studi Kasus di TPA Galuga Cibungbulang Bogor)*. Bogor: Skripsi Fakultas Teknologi Pertanian IPB.
- Mairizki, F. 2017. *Analisis Higiene Sanitasi Depot Air Minum Isi Ulang (DAMIU) Di Sekitar Universitas Islam Riau*. Riau: Jurnal Endurance, 2(3).
- Mulia, Abraham. 2022. *Timbulan dan Komposisi Sampah Perumahan Kabupaten Bogor*. Depok: Universitas Indonesia.
- Munfiah, Siti, & Onny Setiani. 2013. Kualitas Fisik dan Kimia Air Sumur Gali dan Sumur Bor di Wilayah Kerja Puskesmas Guntur II Kabupaten Demak. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 12(2), 154–159.
- Ngatimin, Sri Nur Aminah & Syatrawati. 2019. *Teknik Menanggulangi Pencemaran Tanah Pertanian di Kota dan Desa*. Yogyakarta: Leutika Prio. ISBN 978-602-3717-09-5.
- Ningrum, Susanti O. 2018. Analisis Kualitas Badan Air dan Kualitas Air Sumur di Sekitar Pabrik Gula Rejo Agung Baru Kota Madiun. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 10(1), 1–12.
- Nugroho, Panji. 2013. *Panduan Membuat Kompos Cair*. Jakarta: Pustaka Baru Press.
- Ng'andwe, S., Ogendi, G. M., Muoria, E., & Ngoma, J. (2025). Seasonal Variations of Microbial Water Quality from Shallow Wells and Prevalence of Water-Related Diseases. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 13(5), 1-19 . <https://doi.org/10.4236/gep.2025.135001>
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023. 2023. *Tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan*.
- Peraturan Pemerintah Nomor 81 Tahun 2012. *Tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga*.
- Ramadhan, Fajri, dkk. 2019. *Pendugaan Distribusi Air Lindi dengan Geolistrik Metode ERT*. Yogyakarta: Majalah Geografi Indonesia. ISSN 2540-945X.
- Rahma. 2013. *Pengaruh Ketebalan Arang Tempurung Kelapa Terhadap Tingkat Keadahan Air di Wilayah Kerja Puskesmas Sudu Kabupaten Enrekang Tahun 2013*.
- Rasman, & Muh Saleh. 2016. Penurunan Kadar Besi (Fe) Dengan Sistem Aerasi dan Filtrasi pada Air Sumur Gali (Eksperimen). *Higiene*, 2, 159–167.
- Slamet, J. S. 2004. *Kesehatan Lingkungan*. Yogyakarta: UGM Press.
- Suprihatin. 1992. *Penentuan Status Kualitas Air (Sebuah Pendekatan Kuantitatif dan Praktis)*. Bogor: Fakultas Teknik Pertanian IPB.
- Suyasa, I. W., & Puspitasari, D. (2020). Analisis Kualitas Air Sungai Citarum Hulu Berdasarkan Indeks Kualitas Air (IKA) dan Parameter Fisiko-Kimia. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 21(2), 123–134.
- Suwarsito, S. 2020. Kajian Pola Aliran Air Tanah di Area Kampus Utama Universitas Muhammadiyah Purwokerto. *Sainteks*, 17(1), 19. <https://doi.org/10.30595/sainteks.v17i1.8507>

- Syahrulyati, Teti, dkk. 2005. *Analisis Sebaran Dampak Pencemaran Lindi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Terhadap Kualitas Air Bawah Permukaan*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Syahrulyati, Teti, dkk. 2007. *Pemetaan Isophreatic Kontur Untuk Menduga Arah Aliran Cemarkan Lindi Di Bawah Permukaan Tanah (Studi Kasus Pada TPA Sampah Galuga)*. Bogor: Jurnal Keteknikan Pertanian.
- Syahrulyati, T. (2020). *Analisis Sebaran Dampak Pencemaran Lindi Tempat Pembuangan Akhir Sampah Galuga terhadap Kualitas Air Tanah*. Repository IPB. <https://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/13759>
- Tan, P. J., et al. (2020). Study of the Water Quality Index and Polycyclic Aromatic Hydrocarbon for a River Receiving Treated Landfill Leachate. *Water*, 12(10), 2877
- Utomo, A. Sapto, dkk. 2015. *Kualitas Air di Saluran Pembuangan TPA Galuga Cibungbulang Bogor*. Bogor: IPB University.
- Wardhana, A.W. 2004. *Dampak Pencemaran Lingkungan* (Edisi Revisi). Yogyakarta: Penerbit Andi Offset.
- Yudhyarto, B., Utomo, B., Sulastro, S. 2015. Pengaruh Tempat Pembuangan Akhir Sampah Putri Cempo Surakarta Terhadap Kualitas Air Tanah Dangkal Penduduk di Sekitarnya. *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 3(2), 564–569.
- Zohud, A., Alam, L., & Goh, C. T. (2023). Evaluation of Groundwater Quality Using the Water Quality Index (WQI) and Human Health Risk (HHR) Assessment in West Bank, Palestine. *Hydrology*, 10(10), 198. <https://doi.org/10.3390/hydrology10100198>