

**PROCEEDING, SEMINAR NASIONAL KEBUMIHAN KE-11**  
**PERSPEKTIF ILMU KEBUMIHAN DALAM KAJIAN BENCANA GEOLOGI DI INDONESIA**  
**5 – 6 SEPTEMBER 2018, GRHA SABHA PRAMANA**

Amphistegina radiata		56	67	41
<b>Total (Ns)</b>	106	125	156	159
<b>Oportunistik</b>				
Elphidium discoidale	65	94	59	
Ammonia, sp	12			15
Brizalina	12			
Bolivina	7			
Nonion asteriror	13			
<b>Total (No)</b>	109	94	59	15
<b>Heterotrof</b>				
Eponides cibiroreponduss		8	13	28
Textularia semialata		9	10	
Siphotextularia		8		
Ammobaculites agglutinans		6	8	
Quinqueloculina	35		4	
Rosalina				48
<b>Total (Nh)</b>	35	31	35	76

**Tabel 1.** Presentase kelimpahan genus di keempat lokasi

<b>Lokasi Penelitian</b>	<b>Nilai FI</b>
Baratdaya Pulau Morotai, Maluku Utara (Sidiq, dkk., 2016)	6,32-9,16
Kepulauan Seribu (Toruan, dkk., 2013)	1,22-5,15
Gugusan Kepulauan Natuna, Riau (Gitaputri dkk., 2013)	2,94-8,33
Kepulauan Banggai, Sulawesi Tengah (Aulia dkk., 2012)	2,99-5,54
Perairan Barat Pulau Lombok, NTT (Dewi., dkk., 2012)	1,22-9,81
Perairan Belitung (Natshir dan Subhan, 2011)	2,6-9,4
Pulau0pulau kecil Indonesia Dewi., dkk., 2010	5,32-9,4
Pulau Muna, Sulawesi Tenggara	4,95-7,02

**KAJIAN BAHAYA KONTAMINASI AIR TANAH DI SEKITAR TPA  
KALIGENDING, DESA KALIGENDING, KECAMATAN KARANGSAMBUNG,  
KABUPATEN KEBUMEN, PROVINSI JAWA TENGAH**

Ulima Nurina<sup>1\*</sup>

Doni Prakasa Eka Putra<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada

<sup>2</sup>Departemen Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada

\*corresponding author: ulima.nurina@gmail.com

## ABSTRAK

Kualitas air tanah dapat terganggu sampah yang dihasilkan dari aktivitas manusia. TPA termasuk salah satu sumber kontaminan yang dapat menurunkan kualitas air tanah. Penelitian ini bertujuan untuk (1) mengetahui kondisi hidrogeologi daerah penelitian, (2) mengetahui karakteristik fisika-kimia dan kandungan kimia serta bahaya kontaminasinya, (3) mengetahui karakteristik fisika-kimia dan kandungan kimia air tanah sehingga diketahui kualitasnya, (4) menentukan zona pengaruh kontaminasi air tanah serta faktor yang berpengaruh terhadap terjadinya kontaminasi. Penentuan sampel air tanah menggunakan metode *stratified random sampling* dengan memperhatikan pola dan arah aliran air tanah serta litologi. Analisis komposisi kimia air lindi dan air tanah menggunakan Diagram Trilinier Piper dan Klasifikasi Kurlov. Identifikasi kontaminasi airtanah dilakukan dengan mengombinasikan analisis perbandingan nitrat dan klorida serta analisis dengan Diagram Fingerprint, dilanjutkan dengan pembuatan model konseptual *plume* kontaminan di daerah sekitar TPA. Hasil dari penelitian ini yaitu air tanah di sekitar TPA Kaligending merupakan air tanah dangkal (0,2-8,4 meter) dan aliran air tanah utamanya ke barat laut. Fasies air lindi TPA Kaligending adalah Mg-HCO<sub>3</sub>-Cl. Bahaya kontaminasi air lindi berasal dari kandungan TDS, *nutrients* (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), dan besi. Parameter fisika-kimia air tanah yang anomali hanya pH dengan nilai < 6,5. Air tanah terbagi menjadi 2 fasies yaitu Mg-HCO<sub>3</sub> dan Mg-HCO<sub>3</sub>-Cl. Air tanah yang terkontaminasi oleh air lindi adalah sampel S8, S18, S34, dan S49. Wilayah zona air tanah yang terkontaminasi oleh air lindi TPA sudah mencapai daerah dengan jarak 650 meter dari TPA memanjang ke arah *downstream*. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap terjadinya kontaminasi yaitu faktor hidrogeologi dan faktor geologi. **Kata kunci:** *air tanah, tempat pembuangan akhir sampah (tpa), air lindi, kontaminasi air tanah, kualitas air tanah*

## 1. Pendahuluan

Peningkatan demografi menimbulkan masalah baru, yaitu bertambahnya jumlah sampah yang dibuang ke lingkungan, terutama sampah padat ke Tempat Pembuangan Akhir Sampah (TPA). Air lindi yang terbentuk akan semakin banyak dan meningkatkan terjadinya kemungkinan kontaminasi air tanah di sekitar TPA.

TPA Kaligending terletak di Desa Kaligending Kecamatan Karangsembung Kabupaten Kebumen. TPA ini mulai digunakan sejak tahun 1995 (Badan Pusat Statistik Kabupaten Kebumen, 2015 dalam Baso, 2017). Sebelum ditutup pada tahun 2016, TPA Kaligending masih menggunakan sistem *open dumping*. Sistem ini menyebabkan air hujan yang masuk ke dalam timbunan sampah, meresap ke tanah tanpa ada penghalangnya. Hal ini menyebabkan air sumur warga yang tinggal di sekitar TPA tercemar oleh air lindi TPA. Pencemaran inilah yang menjadi salah satu dasar ditutupnya TPA ini. TPA ini ditutup selama kurang lebih satu tahun. Pada Bulan Februari 2017 lalu, TPA Kaligending ini difungsikan kembali dan telah berubah menjadi TPA Ramah Lingkungan. TPA baru ini berada di bagian bawah dari TPA lama dan telah dilengkapi dengan geomembran sehingga dapat mengurangi zat-zat kontaminan yang meresap masuk ke sistem air tanah.

Namun, Bulan Oktober 2017 lalu, TPA lama yang berada di bagian atas TPA baru masih digunakan dan hanya menggunakan sistem penimbunan oleh tanah. Oleh karena itu, sisa-sisa zat kontaminan tentunya masih ada dan dapat mengontaminasi air tanah dangkal yang ada di

bawahnya. Baik sisa zat kontaminan pada TPA lama ataupun air lindi olahan yang dibuang ke sungai tentunya akan menurunkan kualitas air tanah atau air sumur warga di sekitar TPA Kaligending. Maka dari itu, perlu dilakukan kajian hidrogeologi di kawasan sekitar TPA Kaligending ini untuk mengetahui bagaimana kualitas air tanah tersebut dan apakah kehadiran TPA menyebabkan kontaminasi air tanah di sekitarnya, bagaimana penyebaran kontaminan di sekitar TPA Kaligending, dan faktor apa saja yang berpengaruh terhadap terjadinya kontaminasi tersebut

## **2. Metode Penelitian**

Lokasi penelitian ini berada di sekitar TPA Kaligending yang terletak di sekitar Desa Kaligending, Kecamatan Karangsembung, Kabupaten Kebumen, Provinsi Jawa Tengah (Gambar 1). Penelitian dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu pendahuluan, pengumpulan data sekunder, pengumpulan data primer berupa pengamatan kondisi geologi, pemetaan muka air tanah, pengukuran sifat fisika-kimia air tanah dan air lindi (suhu, pH, TDS, DHL, dan Eh), serta pengambilan sampel air tanah dan air lindi. Selanjutnya melakukan tahap laboratorium dengan menganalisis konsentrasi ion yang ada pada air tanah dan air lindi meliputi  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ , dan Fe-total. Analisis ion mayor dan minor kecuali  $\text{HCO}_3^-$  dilakukan dengan menggunakan alat *Ion Chromatography*, sedangkan ion  $\text{HCO}_3^-$  diuji menggunakan *alkalinity checker*. Kemudian konsentrasi  $\text{Mn}^{2+}$  dan Fe-total diuji di laboratorium BBTKLPP Yogyakarta. Selanjutnya dilakukan pengolahan dan analisis data. Tahap terakhir berupa penyusunan hasil penelitian secara komprehensif dan terstruktur

## **3. Data**

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data terproses yang perlu dilakukan analisis lebih lanjut. Data primer yang digunakan antara lain data pengukuran parameter fisika-kimia air tanah, kedalaman muka air tanah, kolom litologi daerah penelitian serta kandungan ion mayor dan minor pada air tanah. Data sekunder yang digunakan berupa data kondisi geologi daerah penelitian. Data kandungan ion mayor dan minor pada air tanah digunakan untuk analisis lebih lanjut dengan analisis Kurlov, diagram Trilinier Piper, analisis perbandingan nitrat & klorida, analisis Diagram Fingerprint, dan terakhir digunakan untuk membuat prediksi *plume* kontaminan pada air tanah.

## **4. Hasil dan Pembahasan**

### **4.1. Geologi Daerah Penelitian**

Daerah penelitian tersusun atas 3 satuan geomorfologi yaitu Satuan dataran aluvial, Satuan lembah erosional, dan Satuan perbukitan struktural. Sebagian besar daerah penelitian termasuk ke dalam Satuan perbukitan struktural.

Peta geologi daerah penelitian (Gambar 2) disusun berdasarkan pengamatan kondisi geologi di daerah penelitian dan data sekunder berupa peta geologi dari Pamungkas (2016). Berdasarkan peta tersebut, dapat diketahui bahwa daerah penelitian tersusun atas dua satuan litologi, berurutan dari tua ke muda yaitu Satuan batupasir karbonatan dan endapan aluvial. Secara stratigrafis, berdasarkan hasil pengukuran stratigrafi pada beberapa titik (Gambar 3), daerah penelitian tersusun atas perlapisan batupasir karbonatan dan perselingan batupasir karbonatan dengan batulanau karbonatan. TPA Kaligending sendiri berada di atas perlapisan batupasir karbonatan. Kemudian pada endapan aluvial, tersusun atas endapan pasir kerikilan dan endapan pasir kerakalan. Terdapat struktur berupa sesar yang berkembang pada daerah penelitian. Sesar ini memanjang barat-timur dan memotong lokasi TPA Kaligending lama.

### **4.2. Hidrogeologi Daerah Penelitian**

Air tanah pada daerah penelitian muncul secara buatan karena adanya sumur gali. Kedalaman muka air tanahnya sendiri memiliki rentang antara 0,2-8,4 meter. Sumur yang terdangkal adalah sumur S12, sedangkan sumur yang terdalam adalah sumur S15. Peta kedalaman air tanah dapat dilihat pada Gambar 4.

Berdasarkan data elevasi dan pengukuran kedalaman muka air tanah, akan didapatkan nilai elevasi muka air tanah, sehingga dapat dibuat peta aliran air tanah daerah penelitian (Gambar 5). Air tanah di daerah penelitian memiliki satu aliran yang dominan yaitu ke arah barat laut. Selain itu, ada air tanah yang mengalir ke arah tenggara dan timur laut.

#### 4.3. Kondisi Air Tanah Daerah Penelitian

Berdasarkan hasil pengukuran sifat fisika-kimia air tanah, secara umum air tanah di daerah penelitian belum tercemar karena memiliki TDS, DHL, dan Eh yang masih termasuk dalam kategori baik. Nilai TDS air tanah termasuk ke dalam air tawar yang dapat digunakan sebagai air minum dengan kualitas sangat baik (WHO, 2003). Berdasarkan parameter DHL, air tanah juga termasuk ke dalam air tawar yang dapat digunakan sebagai air minum dengan kualitas sangat baik-baik. Parameter Eh juga menunjukkan nilai positif yang menandakan bahwa air tanah tersebut berasal dari akuifer dangkal dan pencemaran belum terjadi. Parameter yang mempunyai nilai yang anomali hanya pH karena sebagian besar air tanah di daerah penelitian memiliki pH <6,5 yang termasuk ke dalam air tanah asam.

Setelah pengukuran sifat fisika-kimia air tanah, dilakukan uji kandungan kimia. Dari hasil uji ion mayor pada 15 sampel (Tabel 1), hanya 9 sampel air tanah yang dapat digunakan untuk interpretasi lebih lanjut (Tabel 2). Hal ini dikarenakan 6 sampel lainnya mempunyai nilai error >10%.

Selanjutnya yaitu analisis konsentrasi Fe-total dan Mn pada air tanah. Menurut Durfer dan Baker (1964) dalam Todd & Mays (2005), konsentrasi alamiah Fe dan Mn dalam air tanah secara berurutan adalah <0,5 mg/L dan  $\leq 0,2$  mg/L. Dari hasil uji konsentrasi Fe-total, sampel air tanah yang mempunyai konsentrasi melebihi konsentrasi alamiah adalah sampel S25 dan S38. Kemudian, sampel air tanah yang mempunyai konsentrasi Mn melebihi konsentrasi alamiahnya dalam air tanah adalah sampel S23 dan S44.

Berdasarkan hasil analisis dengan Diagram Trilinier Piper, air tanah di daerah penelitian memiliki tipe Ca(Mg)HCO<sub>3</sub> (Gambar 6). Kemudian, air tanah di daerah penelitian terbagi menjadi 2 fasies yaitu Mg - HCO<sub>3</sub> dan Mg - HCO<sub>3</sub> - Cl. Sebagian besar air tanah di daerah penelitian memiliki fasies Mg - HCO<sub>3</sub>. Air tanah dengan fasies Mg - HCO<sub>3</sub> - Cl hanya terdapat pada sampel S8.

#### 4.4. Kondisi Air Lindi TPA Kaligending

Sampel air lindi diambil di kolam penampungan air lindi TPA Kaligending. Sampel air lindi yang diambil ada dua yaitu L1-IN dan L2-OUT. L1-IN merupakan air yang dihasilkan langsung dari reaksi antara air dengan sampah yang dialirkan dan ditampung di kolam. Kemudian L2-OUT merupakan hasil dari perlakuan khusus L1-IN, sehingga konsentrasi terlarut pada sampel ini sudah berkurang.

Sifat fisika-kimia air lindi lebih besar dan lebih buruk dari sifat fisika-kimia air tanah. Sampel L1-IN memiliki nilai TDS sebesar 3050 mg/L, sehingga termasuk ke dalam *moderately saline water* (PAHIAA, 1986 dalam Edwin, 2016), sedangkan sampel L2-OUT memiliki nilai TDS sebesar 2660 mg/L, sehingga termasuk ke dalam *slightly saline water*. Berdasarkan nilai DHL, kedua sampel tersebut termasuk ke dalam jenis *moderately saline water* (PAHIAA, 1986 dalam Edwin, 2016). Nilai Eh dari kedua sampel air lindi tersebut adalah negatif. Hal ini menandakan bahwa air lindi tersebut berada pada kondisi reduksi karena semakin negatif nilai potensialnya, reaksi reduksi akan semakin dominan.

Hasil uji kandungan kimia air lindi dapat dilihat pada Tabel 3. Selanjutnya hasil uji konsentrasi Fe-total pada air lindi juga mempunyai nilai yang sesuai dengan karakteristik air

lindi Indonesia karena berada pada rentang antara 0,4-2200 mg/L. Selanjutnya, konsentrasi Mn pada sampel L2-OUT tidak sesuai dengan karakteristik air lindi Indonesia karena memiliki nilai di bawah rentang pada umumnya yaitu 0,4-50 mg/L. Hal ini kemungkinan karena adanya perlakuan kimia khusus pada sampel L1-IN sehingga saat sudah menjadi L2-OUT konsentrasi Mn sudah berkurang cukup jauh.

Berdasarkan hasil analisis dengan Diagram Trilinier Piper, air lindi TPA Kaligending memiliki tipe  $\text{Ca}(\text{Mg})\text{HCO}_3$  (Gambar 7). Kemudian, air lindi dari TPA Kaligending termasuk ke dalam fasies  $\text{Mg} - \text{HCO}_3 - \text{Cl}$ , di mana fasies ini sama dengan fasies air tanah pada sampel S8.

Untuk mengetahui kualitas air lindi pada TPA Kaligending ini, hasil uji sifat fisika-kimia dan kandungan kimia air lindi dibandingkan dengan Baku Mutu Air Limbah menurut Keputusan Menteri KLH No. KEP-03/MENKLH/II/1991 (Tabel 4).

Berdasarkan perbandingan ini, terlihat bahwa parameter air lindi pada masing-masing sampel yang telah melampaui batas adalah Nitrat dan TDS. Pada sampel L1-IN, parameter Besi dan Mangan juga telah melampaui batas baku mutu air limbah golongan I. Kandungan ion seperti Natrium, Kalium, Magnesium, Klorida, dan Bikarbonat menunjukkan nilai yang tinggi, parameter ini juga berpotensi untuk mencemari air tanah. Klorida berasal dari pencucian sampah yang ada pada TPA. Konsentrasinya yang masih tinggi dikarenakan Klorida tahan terhadap proses atenuasi, sehingga Klorida dapat digunakan sebagai patokan dalam kontaminasi air lindi pada air tanah di daerah penelitian. Maka dari itu, bahaya kontaminasi air lindi adalah adanya kandungan TDS, Nitrat, Besi, Klorida, Natrium, Kalium, Magnesium, dan Bikarbonat.

#### 4.5. Analisis Komposisi Klorida dan Nitrat pada Air Tanah

Peneliti melakukan pendekatan melalui diagram perbandingan Nitrat dengan Klorida menurut Putra (2007). Diagram ini membantu untuk menentukan apakah suatu air tanah tercemar atau tidak berdasarkan rasio perbandingan Nitrat dan Klorida. Untuk air tanah alamiah, rasio perbandingan konsentrasi Nitrat dan Klorida lebih kecil dari 1:20. Kemudian, air tanah dengan rasio perbandingan Nitrat dan Klorida antara 1:20 sampai 1:1 menunjukkan bahwa air tanah terindikasi tercemar, sedangkan air tanah dengan rasio lebih besar dari 1:1 menunjukkan bahwa air tanah tersebut sudah jelas tercemar nitrat yang berasal dari *faecal*. Rasio perbandingan Nitrat dan Klorida (Tabel 5) menunjukkan terdapat 1 sampel air tanah yang termasuk ke dalam kategori tidak tercemar yaitu sampel S31. Selain sampel S31, air tanahnya termasuk ke dalam kategori tercemar.

#### 4.6. Analisis Diagram Fingerprint

Analisis dengan Diagram Fingerprint ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pola air lindi dan air tanah. Jika ada sampel air tanah dengan pola yang mirip dengan pola Diagram Fingerprint air lindi, maka kemungkinan kontaminasi pada air tanah disebabkan oleh air lindi dari TPA Kaligending. Dilihat dari Diagram Fingerprint air lindi dan air tanah (Gambar 8), terdapat 3 pola untuk air tanah pada daerah penelitian. Pola pertama ada pada sampel S8 dengan pola yang hampir sama dengan pola air lindi, pola ini juga mewakili sampel S18, S34, dan S49. Hal ini menunjukkan kemungkinan bahwa air tanah tersebut telah terkontaminasi oleh air lindi dari TPA Kaligending. Pola kedua pada sampel S7, S25, dan S38 dicirikan dengan konsentrasi ion  $\text{Ca}^{2+}$  yang hampir sama dengan ion  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ . Pola ketiga yaitu pada sampel S31 dan S44. Pola ketiga ini dicirikan dengan konsentrasi ion  $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+$ .

#### 4.7. Identifikasi Kontaminasi Air Tanah oleh Air Lindi TPA Kaligending

Identifikasi kontaminasi ini dilakukan dengan menggabungkan hasil analisis rasio Nitrat dan Klorida dengan analisis Diagram Fingerprint. Berdasarkan analisis diagram perbandingan Nitrat dan Klorida menurut Putra (2007), sampel air tanah yang tidak tercemar

hanya sampel S31. Hal ini diverifikasi lagi dengan rendahnya nilai konsentrasi Fe-total dalam sampel air tanah S31 yang hanya 0,0189 mg/L. Kemudian, berdasarkan Diagram Fingerprint, terdapat 4 sampel air tanah yang terindikasi terkontaminasi oleh air lindi. Hal ini didasarkan atas kemiripan pola dengan pola Diagram Fingerprint air lindi. Sampel yang terindikasi terkontaminasi oleh air lindi TPA Kaligending ini telah terverifikasi termasuk ke dalam air tanah yang terindikasi tercemar berdasarkan analisis diagram perbandingan Nitrat dan Klorida.

Sampel air tanah yang terindikasi terkontaminasi oleh air lindi dari TPA Kaligending adalah sampel S8, S18, S34, dan S49. Sumur S18 terletak sekitar 125 meter dari TPA Kaligending. Sumur ini berada pada daerah yang lebih tinggi dari sungai pembuangan air lindi. Kemungkinan sumber kontaminan yang mencemari sumur S18 bukan berasal dari sungai pembuangan air lindi, melainkan dari tempat pembuangan sampah lama yang berada di bagian atas sebelah timur laut dari sumur S8.

Konsentrasi Besi pada sumur S18 juga cukup tinggi yaitu sebesar 0,0992 mg/L. Jika dilihat nilai TDS dari sampel S18 ini yang hanya 50 mg/L, hal ini menunjukkan bahwa proses dilusi juga sangat berperan penting dalam kandungan TDS pada sampel ini. Sumur S18 ini termasuk sumur yang terkontaminasi dengan kategori yang rendah.

Sampel air tanah pada sumur S49 juga terkontaminasi oleh air lindi TPA. Ada 2 faktor yang berpengaruh dalam kontaminasi sumur S49 ini, yaitu sungai pembuangan air lindi dan sesar diperkirakan yang berada di sebelah selatan sumur. Migrasi dari kontaminan sangat dipengaruhi oleh proses dilusi. Konsentrasi unsur pada sampel S49 ini jauh lebih kecil dari air lindi yang dibuang karena secara alamiah konsentrasi zat kontaminan yang tinggi di bagian hulu sungai (dekat TPA) akan semakin mengecil ke arah hilir akibat adanya proses dilusi. Begitu juga dengan kontaminan yang bermigrasi melalui sesar yang kemudian masuk ke sistem air tanah. Saat sudah mencapai sumur S49, proses dilusi sudah banyak terjadi, sehingga konsentrasinya kecil. Konsentrasi Klorida dan Nitrat pada sumur ini hanya sebesar 22 mg/L dan 6,148 mg/L. Konsentrasi Besi dan Mangan pada sampel S49 pun juga menunjukkan nilai yang kecil yaitu hanya 0,0313 dan 0,0164 mg/L.

Sumur lain yang terkontaminasi oleh air lindi dari TPA adalah sumur S8. Sumur ini memiliki fasies air tanah yang sama dengan air lindi yaitu Mg-HCO<sub>3</sub>-Cl. Ada 2 hal yang berpengaruh dalam kontaminasi yang ada pada sumur S8 ini yaitu sungai pembuangan air lindi pada bagian selatan sumur dan sesar yang melewati sumur S8. Tingginya konsentrasi unsur-unsur pada sampel S8 ini utamanya dipicu oleh keberadaan sesar yang melewati sumur S8 ini. Air lindi dari TPA Kaligending lama masuk ke sistem air tanah melalui rekahan yang terbentuk karena sesar tersebut. Kemudian air tanah yang terkontaminasi tersebut mengalir melalui kelurusan sesar tersebut ke arah barat dan melewati sumur S8. Proses dilusi air lindi yang bergerak melalui kelurusan sesar ini lebih kecil daripada dilusi pada sungai, sehingga konsentrasinya masih cukup tinggi saat melalui sumur S8 ini.

Sumur terakhir yang terindikasi terkontaminasi adalah sumur S34 yang berjarak 350 meter dari TPA Kaligending lama. Konsentrasi Klorida, Nitrat, dan Fosfat pada sumur ini cukup tinggi dibandingkan dengan konsentrasi pada sampel lainnya, padahal sumur S34 ini terletak jauh dari sumber kontaminan Nitrat dan Klorida seperti WC atau kandang ternak. Meskipun sumur ini berada di tempat yang lebih tinggi dari lokasi TPA dengan beda tinggi sekitar 62,5 meter, tidak menutup kemungkinan bahwa sumber kontaminan sumur S34 berasal dari TPA Kaligending lama. Hal ini mungkin saja terjadi karena sumur ini dilewati oleh sesar yang juga melewati TPA Kaligending. Air lindi TPA Kaligending masuk ke bawah permukaan melalui rekahan akibat sesar dan masuk ke dalam sistem air tanah. Kemudian mengalami migrasi naik sepanjang kelurusan sesar tersebut melewati sumur S34 dan mengontaminasi air tanah pada sumur S34. Mekanisme migrasinya disebut dengan difusi yaitu migrasi larutan dalam air tanah dari tempat yang berkonsentrasi tinggi (TPA Kaligending) ke tempat yang berkonsentrasi rendah (sumur S34).

#### 4.8. Prediksi Kontaminasi Air Tanah

Model konseptual *plume* penyebaran kontaminasi air tanah oleh air lindi dibuat dengan memprediksi penyebaran kontaminasi berdasarkan keberadaan sumber pencemar (TPA), pola aliran sungai, sesar, dan pola distribusi konsentrasi klorida pada air tanah. Selain berdasarkan pola distribusi ion, *plume* kontaminan ini dibuat dengan memperhatikan pola dan arah aliran air tanah.

Menurut penelitian Putra (2001), *plume* tersebar memanjang ke arah *downstream*. Pola *plume* kontaminasi air tanah di sekitar TPA Kaligending diperkirakan memanjang ke arah lembah sungai di sebelah barat TPA. Berdasarkan pola *plume* (Gambar 9), hingga saat penelitian kontaminasi air lindi pada air tanah di daerah penelitian sudah mencapai sumur S8, di mana sumber utama kontaminan berasal dari lokasi TPA Kaligending lama.

Berdasarkan pola *plume* tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa kontaminasi air lindi TPA Kaligending terhadap air tanah pada daerah penelitian telah terjadi dan telah mencapai daerah pada jarak sekitar 650 meter ke arah *downstream* dari TPA Kaligending. Air lindi ini bergerak melalui sungai *intermitten* pada sebelah barat TPA dan meresap masuk ke dalam sistem air tanah. Selain melalui sungai, air lindi juga ada yang meresap masuk ke dalam tanah melalui retakan yang terbentuk karena sesar dan bergerak mengikuti kelurusan sesar naik diperkirakan ke arah barat TPA Kaligending. Migrasi melalui kelurusan sesar ini lebih dominan pengaruhnya dalam kontaminasi air tanah di daerah penelitian, dengan sumber kontaminan utamanya dari lokasi TPA Kaligending lama.

## 5. Kesimpulan

Air tanah di daerah penelitian merupakan air tanah dangkal berkisar antara 0,2-8,4 meter. Pada daerah penelitian terdapat 3 pola arah aliran air tanah yaitu ke arah barat laut, tenggara, dan timur laut. Air tanah yang mengalir melewati TPA mengikuti pola aliran utama berarah barat laut. Karakteristik fisika-kimia air lindi lebih besar dan lebih buruk dibandingkan dengan karakteristik fisika-kimia air tanah. Fasies dari air lindi TPA Kaligending ini adalah Mg- HCO<sub>3</sub>- Cl. Bahaya kontaminasi air lindi berasal dari kandungan TDS, *nutrient* (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), dan logam berat berupa Besi. Karakteristik fisika-kimia air tanah di daerah penelitian masih termasuk normal. Parameter yang berada di luar *range* ambang batas kualitas air minum adalah pH dengan nilai < 6,5. Air tanah terbagi menjadi 2 fasies yaitu Mg-HCO<sub>3</sub> dan Mg-HCO<sub>3</sub>-Cl. Air tanah yang terindikasi terkontaminasi oleh air lindi dari TPA Kaligending adalah sampel S8, S18, S34, dan S49. Wilayah zona air tanah yang terkontaminasi oleh air lindi TPA sudah mencapai daerah pada jarak 650 meter dari TPA memanjang ke arah *downstream*. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap terjadinya kontaminasi yaitu faktor hidrogeologi dan faktor geologi. Faktor hidrogeologi di sini adalah pola dan arah aliran air tanah, sedangkan faktor geologinya yaitu litologi dan struktur geologi. Sesar mempunyai pengaruh yang dominan dalam terjadinya kontaminasi air tanah di daerah penelitian.

### *Acknowledgments*

Penelitian ini dilakukan dalam kegiatan tugas akhir di sekitar TPA Kaligending, Desa Kaligending, Kecamatan Karangsembung, Kabupaten Kebumen pada bulan februari – mei 2017. Peneliti ingin berterima kasih kepada segenap pihak yang telah mendukung dan membantu penelitian ini, antara lain:

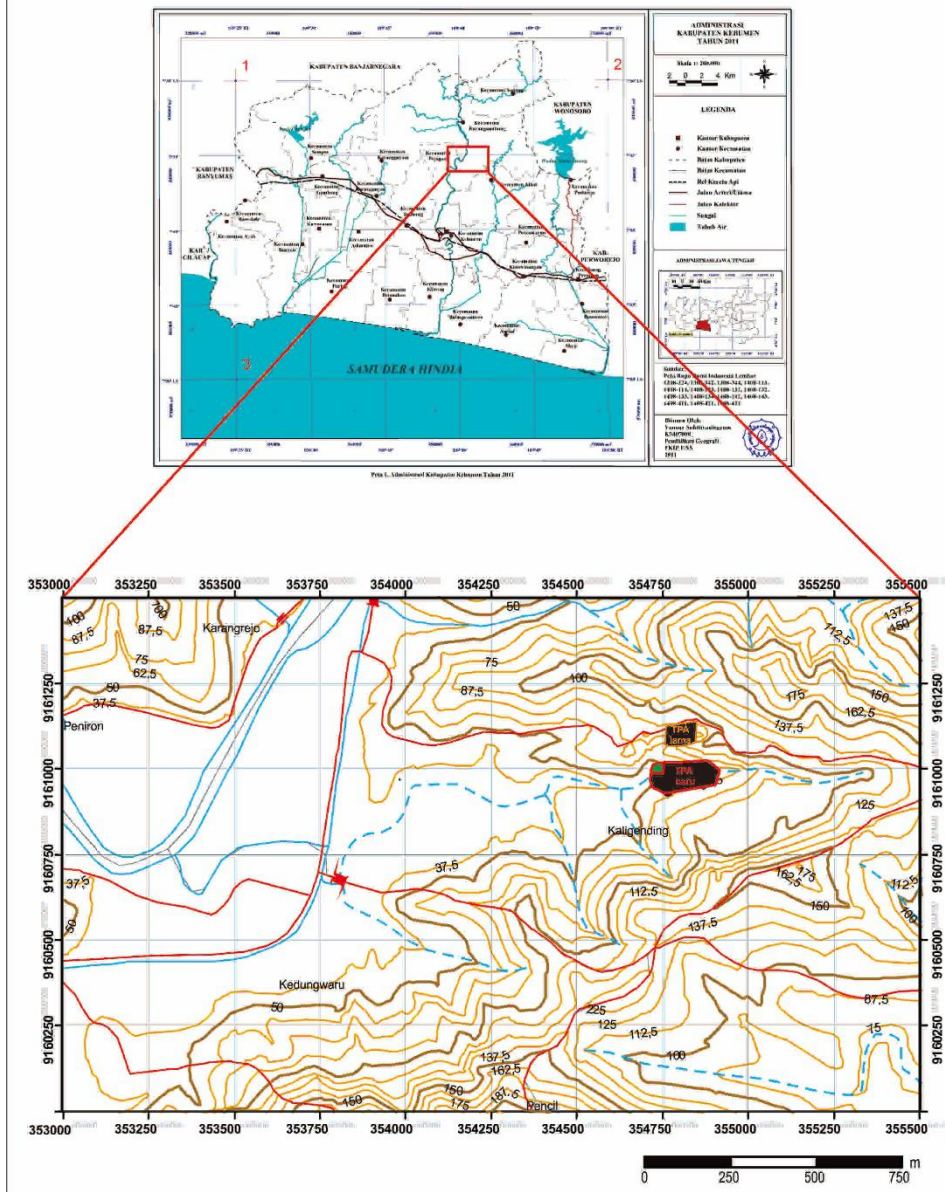
1. Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
2. Koordinator TPA Kaligending dan seluruh masyarakat di sekitar TPA Kaligending

**Daftar Pustaka**

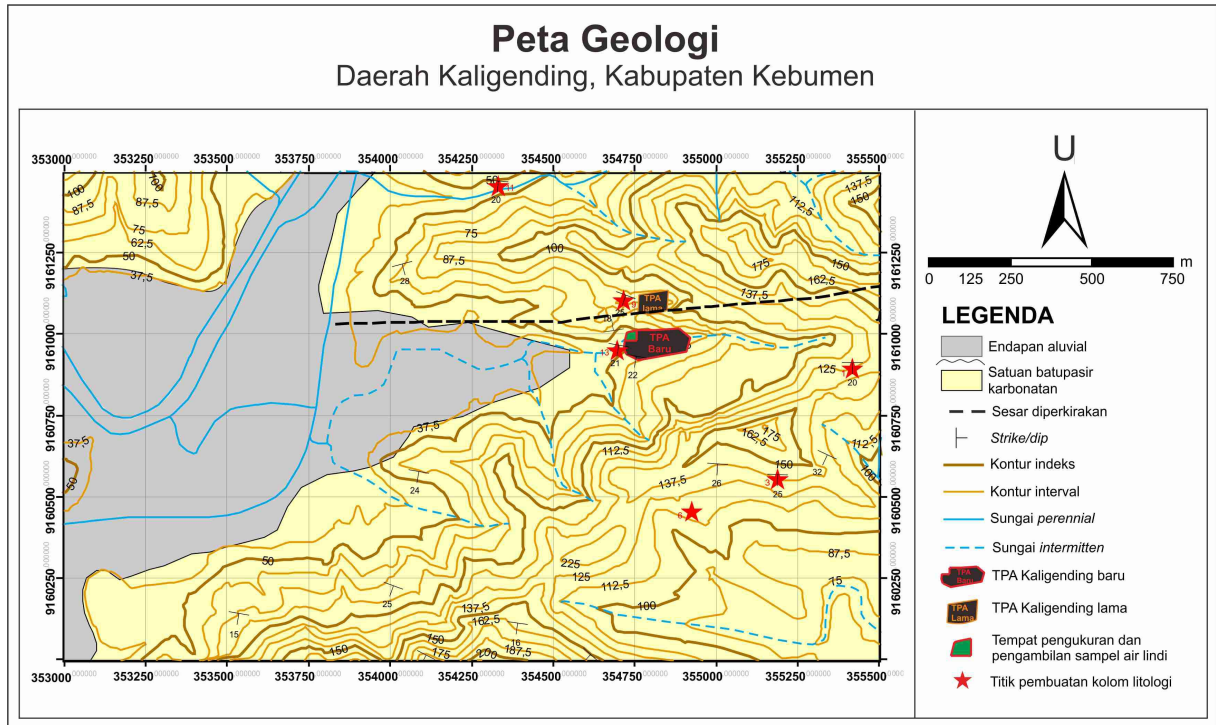
- Anonim. (1991). *Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup, No. Kep-03/MENKLH/II/1991, Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Yang Sudah Beroperasi*. Sekretariat Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, Jakarta.
- Baso, A.N.A., Hadiwidodo, M., dan Samudro, G. (2017). *Perencanaan Sistem Pengelolaan Persampahan Pelayanan TPA Kaligending Kabupaten Kebumen*. Jurnal Teknik Lingkungan, Vol.6, No. 1, Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang.
- Edwin, T., Regia, R.A., dan Dibba, F. (2016). *Indikasi Intrusi Air Laut dari Konduktivitas Air Tanah Dangkal di Kecamatan Padang Utara*. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Lingkungan II, Padang.
- Pamungkas, D. (2016). *Laporan Pemetaan Geologi Mandiri: Geologi Daerah Kaligending, Plumbon dan Sekitarnya, Kecamatan Alian dan Karangsembung, Kabupaten Kebumen, Provinsi Jawa Tengah, Indonesia*. Laporan Penelitian (tidak dipublikasikan), Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Putra, D.P.E. (2001). *Pencemaran Leachate Pada Air tanah di Area Tempat Pembuangan Akhir Sampah Piyungan dan Sekitarnya Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul, Yogyakarta*. Tesis S2, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Putra, D.P.E. (2007). *The Impact of Urbanization on Groundwater Quality A Case Study in Yogyakarta City-Indonesia*. Disertasi S3, RWTH Aachen University, Aachen.
- Todd, D.K. dan Mays, L.W. (2005). *Groundwater Hydrology Third Edition*. John Wiley & Sons, New York.
- World Health Organization. (2003). *Total Dissolved Solids in Drinking-water*. World Health Organization Publication, Geneva.



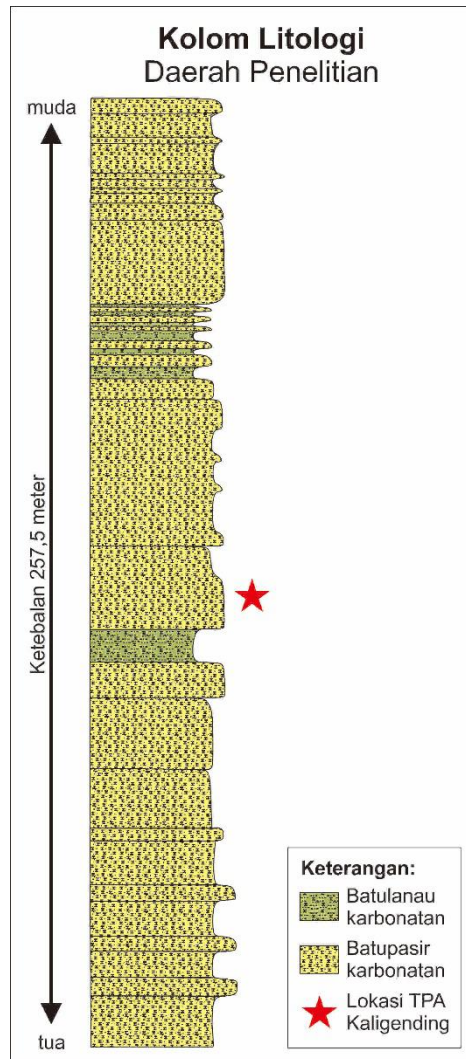
## Peta Lokasi Penelitian Daerah Kaligending, Kabupaten Kebumen



Gambar 1. Lokasi penelitian

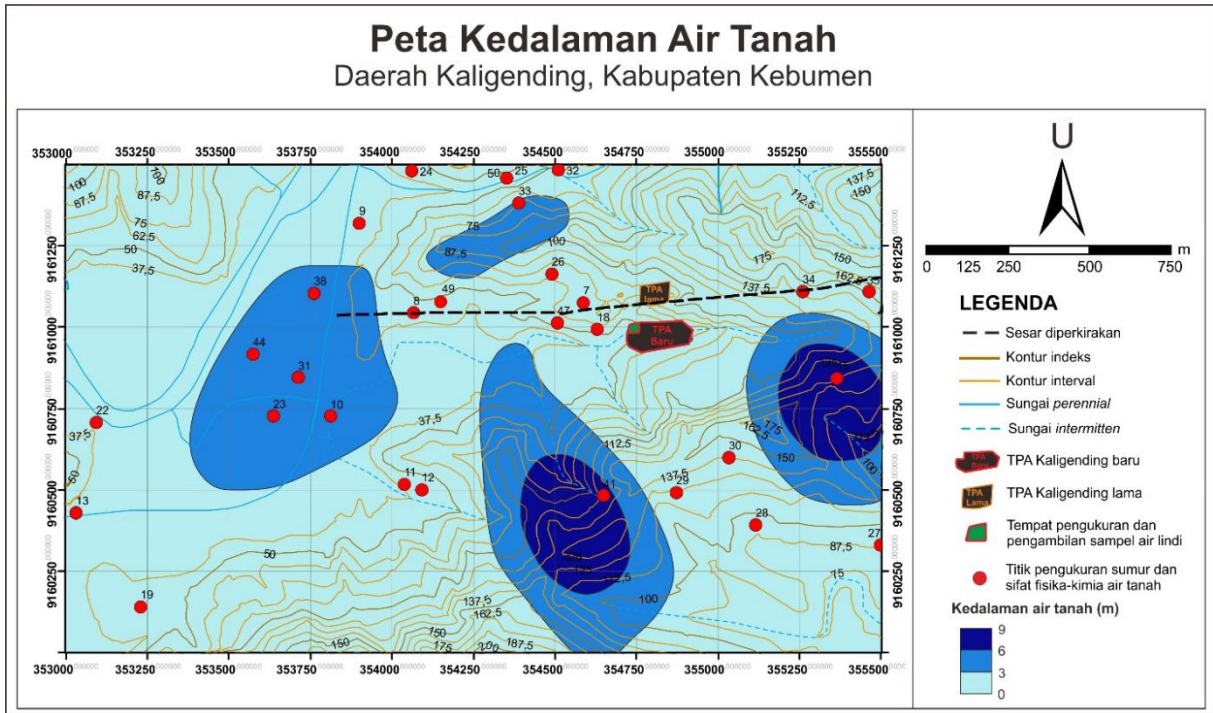


Gambar 2. Peta geologi daerah penelitian

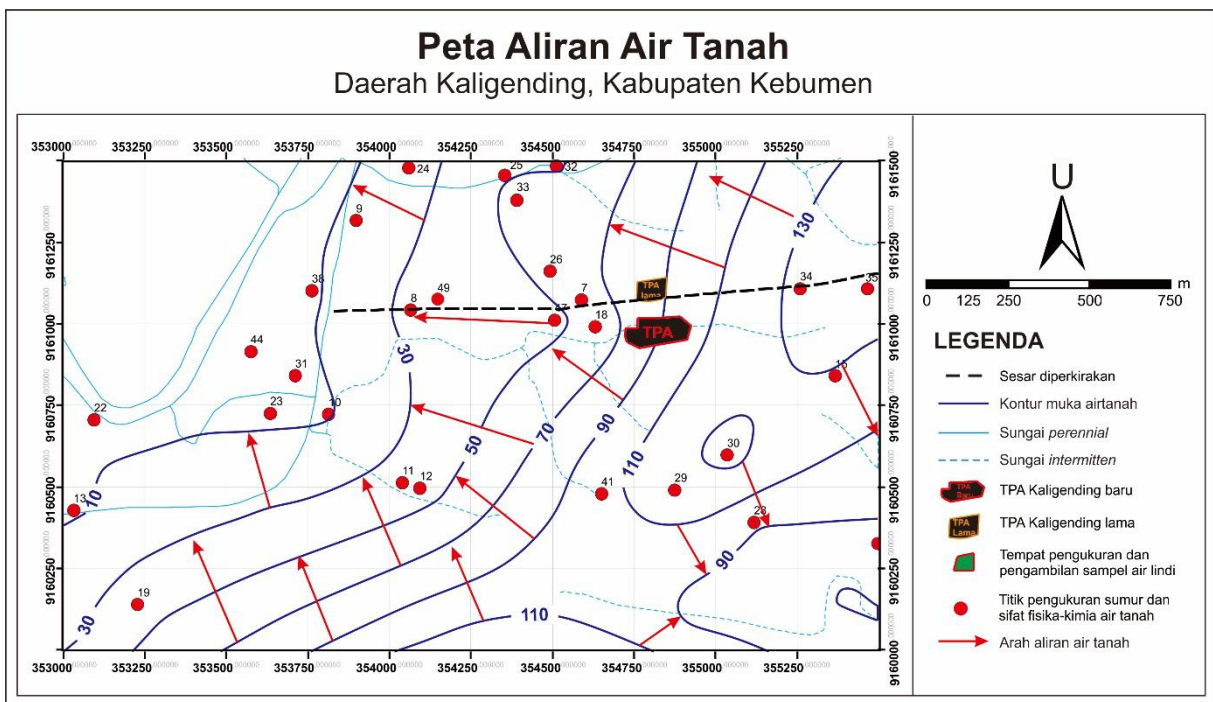


**Gambar 3.** Kolom litologi daerah penelitian

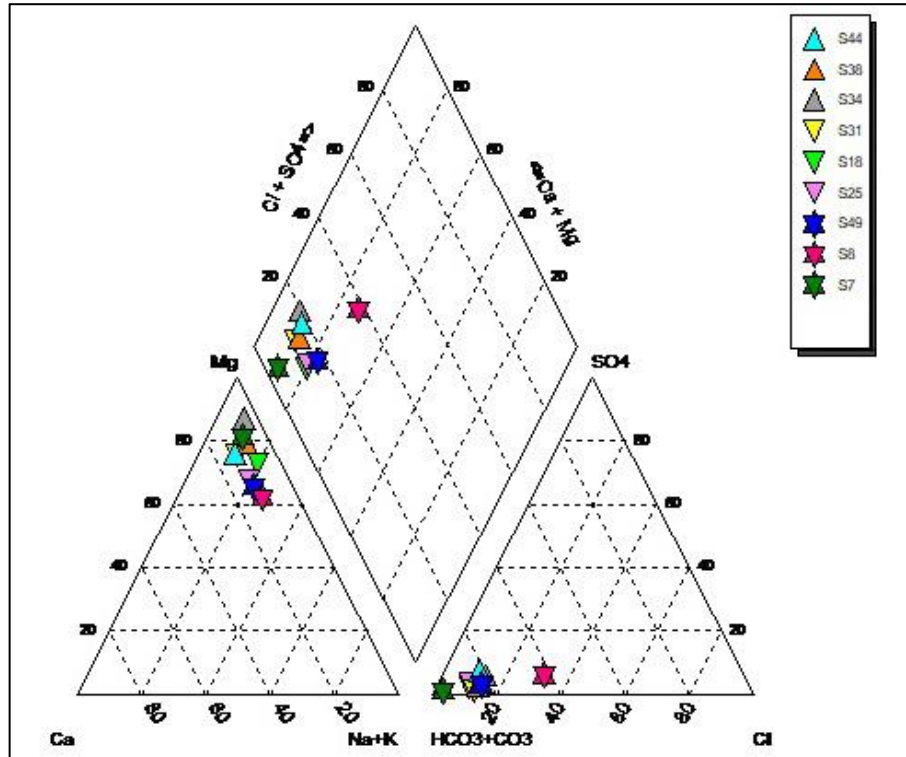




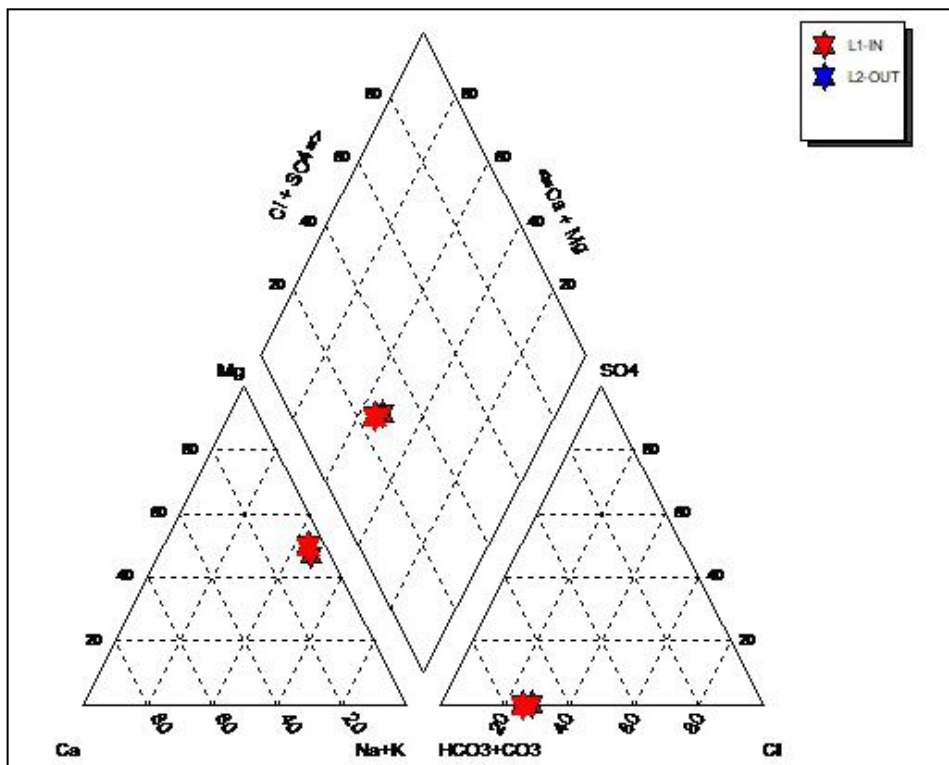
**Gambar 4.** Peta kedalaman air tanah daerah penelitian



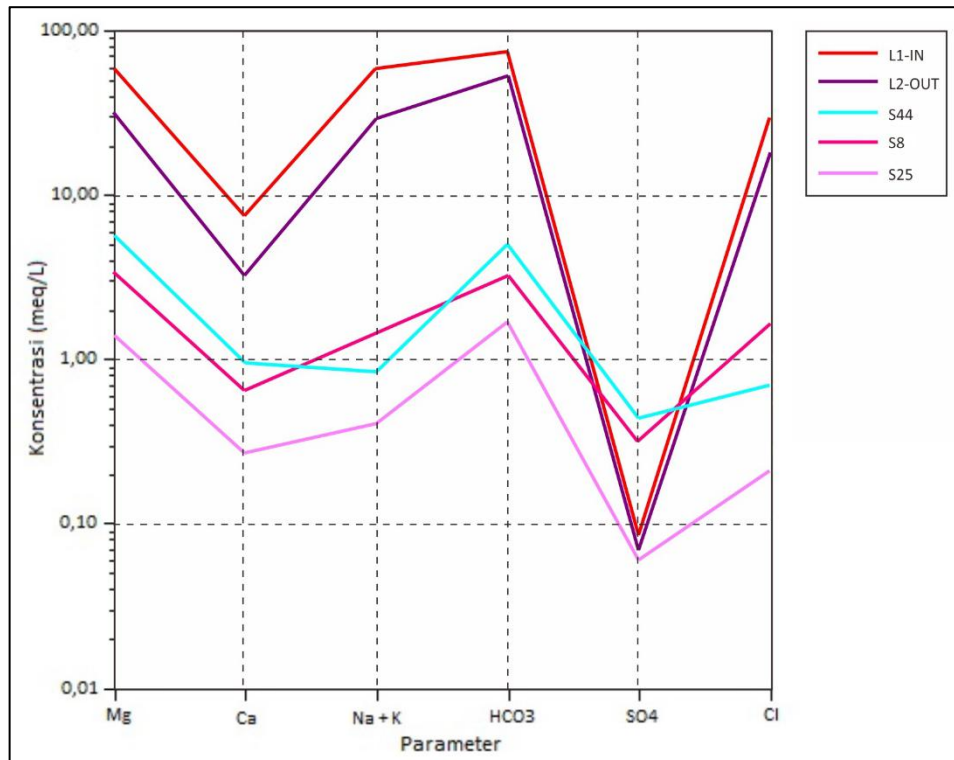
**Gambar 5.** Peta aliran air tanah daerah penelitian



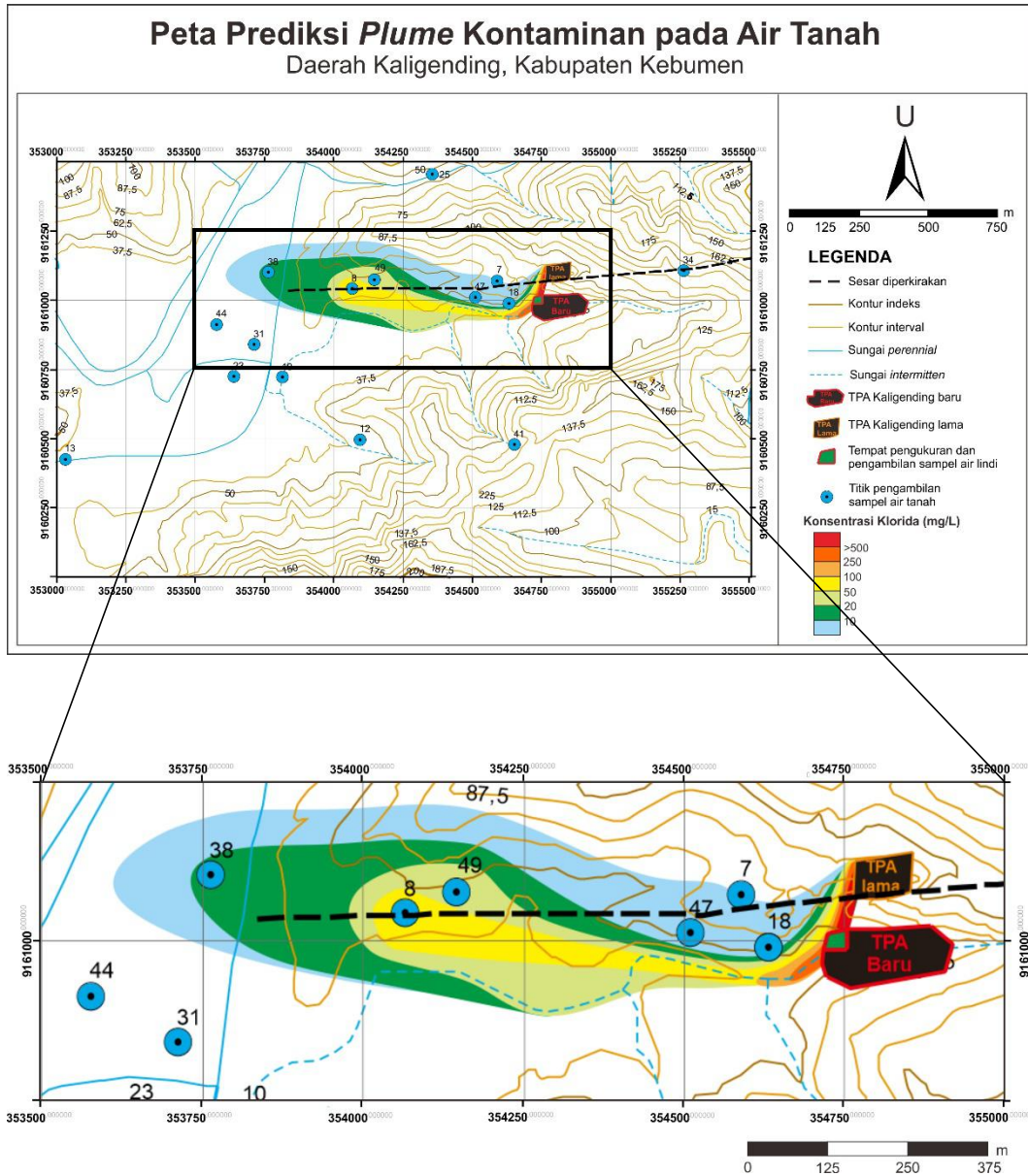
Gambar 6. Diagram Trilinier Piper air tanah daerah penelitian



Gambar 7. Diagram Trilinier Piper air lindi TPA Kaligending



Gambar 8. Diagram Fingerprint air tanah dan air lindi yang disederhanakan



Gambar 9. Peta prediksi *plume* kontaminan pada air tanah

**PROCEEDING, SEMINAR NASIONAL KEBUMIHAN KE-11**  
**PERSPEKTIF ILMU KEBUMIHAN DALAM KAJIAN BENCANA GEOLOGI DI INDONESIA**  
 5 – 6 SEPTEMBER 2018, GRHA SABHA PRAMANA

**Tabel 1.** Kandungan kimia air tanah daerah penelitian dalam mg/L

No	Sampel	Konsentrasi (mg/L)										
		Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Fe-total	Mn <sup>2+</sup>
1	S7	3,980	0,957	Ttd	1,473	197,624	8,003	1,965	5,680	35,844	0,056	<0,0101
2	S8	59,291	30,528	17,084	15,339	136,635	27,171	11,534	12,803	41,609	0,0621	0,0793
3	S10	13,980	Ttd	Ttd	10,735	343,867	17,312	4,768	17,166	88,551	0,1116	0,2076
4	S12	7,354	0,620	Ttd	17,807	254,954	13,615	2,124	9,285	101,399	0,056	<0,0101
5	S13	16,096	1,189	Ttd	36,501	378,140	12,687	1,684	6,792	118,728	0,093	<0,0101
6	S18	9,688	0,586	Ttd	2,519	134,198	11,040	1,821	3,971	22,835	0,0992	0,0276
7	S23	24,453	1,984	Ttd	16,622	385,489	42,335	18,234	41,627	94,296	0,056	0,3487
8	S25	7,646	1,124	Ttd	3,016	106,137	8,696	1,611	5,420	17,278	0,3833	0,0186
9	S31	19,808	0,790	Ttd	2,354	233,011	11,727	4,639	12,847	47,395	0,0189	0,1062
10	S34	37,374	6,775	2,911	21,057	368,366	16,020	3,070	7,863	96,352	<0,0162	<0,0101
11	S38	10,588	0,945	Ttd	2,889	118,338	5,761	2,764	3,669	23,705	0,8342	0,0927
12	S41	10,850	0,963	Ttd	14,113	431,794	9,763	1,677	9,381	114,567	0,0807	0,0344
13	S44	25,168	1,387	Ttd	21,981	309,860	16,084	5,858	19,616	69,270	0,0745	0,3757
14	S47	16,644	Ttd	Ttd	32,117	324,507	14,664	2,249	15,828	83,490	0,0313	0,0276
15	S49	22	6,148	Ttd	6,651	222,029	18,574	8,511	11,674	36,941	0,0313	0,0164

Keterangan:

- Ttd = tidak terdeteksi



**PROCEEDING, SEMINAR NASIONAL KEBUMIHAN KE-11**  
 PERSPEKTIF ILMU KEBUMIHAN DALAM KAJIAN BENCANA GEOLOGI DI INDONESIA  
 5 – 6 SEPTEMBER 2018, GRHA SABHA PRAMANA

**Tabel 2.** Perhitungan *reaction error* pada sampel air tanah

No	Sampel	Konsentrasi (meq/L)							Anion	Kation	Reaction Error
		Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>			
1	S7	0,1121	0,0307	3,2397	0,3480	0,0504	0,2840	2,987	3,383	3,669	4,07%
2	S8	1,6702	0,3196	3,2399	1,1813	0,2957	0,6402	3,467	5,230	5,585	3,28%
3	S10	0,3938	0,2236	5,6372	0,7527	0,1223	0,8583	7,379	6,255	9,113	18,60%
4	S12	0,2072	0,3710	4,1796	0,5920	0,0545	0,4643	8,450	4,758	9,561	33,54%
5	S13	0,4534	0,7604	6,1990	0,5516	0,0432	0,3396	9,894	7,413	10,828	18,72%
6	S18	0,2729	0,0525	2,200	0,4800	0,0467	0,1986	1,903	2,525	2,628	2,00%
7	S23	0,6888	0,3463	6,3195	1,8407	0,4675	2,0814	7,858	7,355	12,248	24,96%
8	S25	0,2154	0,0628	1,7400	0,3781	0,0413	0,2710	1,440	2,018	2,130	2,70%
9	S31	0,5580	0,0490	3,8198	0,5099	0,1189	0,6424	3,950	4,427	5,221	8,23%
10	S34	1,0528	0,4387	6,0388	0,6965	0,0787	0,3932	8,029	7,530	9,198	9,97%
11	S38	0,2983	0,0602	1,9400	0,2505	0,0704	0,1835	1,975	2,298	2,480	3,80%
12	S41	0,3056	0,2940	7,0786	0,4245	0,0430	0,4691	9,547	7,678	10,484	15,45%
13	S44	0,7090	0,4579	5,0797	0,6996	0,1502	0,9808	5,773	6,247	7,603	9,79%
14	S47	0,4688	0,6691	5,3198	0,6376	0,0577	0,7914	6,958	6,458	8,444	13,33%
15	S49	0,6197	0,1386	3,6398	0,8076	0,2182	0,5837	3,0784	4,398	4,688	3,19%

**PROCEEDING, SEMINAR NASIONAL KEBUMIHAN KE-11**  
 PERSPEKTIF ILMU KEBUMIHAN DALAM KAJIAN BENCANA GEOLOGI DI INDONESIA  
 5 – 6 SEPTEMBER 2018, GRHA SABHA PRAMANA

**Tabel 3.** Kandungan kimia pada air lindi TPA Kaligending

Sampel	Konsentrasi (mg/L)										
	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Fe-total	Mn <sup>2+</sup>
L1-IN	1018,05	17,723	1,941	4,311	4622,8754	725,413	1106,301	151,978	718,976	4,6116	1,5665
L2-OUT	596,368	7,51	7,9855	3,621	3377,7031	356,699	526,831	65,557	395,115	0,8594	0,0323

**Tabel 4.** Hasil analisis air lindi dibandingkan dengan Baku Mutu Air Limbah

No	Parameter	Satuan	Sampel L1-IN	Sampel L2-OUT	Golongan Baku Mutu Air Limbah			
					I	II	III	IV
1	Suhu	°C	37,4	33,5	35	38	40	45
2	pH	-	6,5	6,9	6-9	6-9	6-9	5-9
3	Natrium	mg/L	725,413	356,699	-	-	-	-
4	Kalium	mg/L	1106,301	526,831	-	-	-	-
5	Kalsium	mg/L	151,978	70,557	-	-	-	-
6	Magnesium	mg/L	718,976	395,115	-	-	-	-
7	Klorida	mg/L	1068,95	656,005	-	-	-	-
8	Nitrat	mg/L	<b>18,29*</b>	<b>15,951*</b>	10	20	30	50
9	Fosfat	mg/L	6,826	5,953	-	-	-	-
10	Sulfat	mg/L	4,311	3,759	-	-	-	-
11	Bikarbonat	mg/L	4622,875	3255,764	-	-	-	-
12	Besi	mg/L	<b>4,6116*</b>	0,8594	1	5	10	20
13	Mangan	mg/L	<b>1,5665*</b>	0,0323	0,5	2	5	10
14	TDS	mg/L	<b>3050*</b>	<b>2660*</b>	1500	2000	4000	5000

Keterangan:

\* = melebihi ambang batas maksimum