

Kajian daya dukung geologi rencana lokasi Tempat Pembuangan Akhir di Desa Botok, Magetan, Jawa Timur

Doni Prakasa Eka Putra^{1,2,3}, Rilo Restu Surya Atmaja¹, Wahyu Wilopo^{1,2} dan Pramono Hadi^{3,4}

¹Departemen Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

²Center for Disaster Mitigation and Technological Innovation (GAMA-InaTEK), Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

³Pusat Studi Lingkungan Hidup (PSLH), Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

⁴Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

Email Koresponden: *putra_dpe@ugm.ac.id

Direvisi: 2020-11-11. Diterima: 2021-01-12

©2021 Fakultas Geografi UGM dan Ikatan Geograf Indonesia (IGI)

Abstrak. Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sampah Milangasri di Kabupaten Magetan telah mencapai daya tampung maksimum. Pemerintah Kabupaten Magetan berencana membangun TPA baru di Desa Botok. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan kajian kelayakan daya dukung geologi rencana lokasi TPA baru. Kriteria daya dukung geologi mengacu pada SNI 03-3241-1994 tentang tata cara pemilihan lokasi TPA. Metode penelitian meliputi investigasi lapangan dan pengumpulan data sekunder. Penelitian lapangan meliputi pengamatan kondisi geologi, pemetaan topografi, survei geolistrik, pemboran inti dan uji permeabilitas lapangan serta pengamatan sumber air terdekat. Data sekunder meliputi informasi yang berkaitan dengan potensi bahaya geologi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelulusan batuan antara $1,26 \times 10^{-2}$ hingga $1,59 \times 10^{-2}$ cm/detik tidak memenuhi kriteria. Sehingga secara alami, lokasi ini kurang layak dijadikan sebagai lokasi TPA. Namun demikian, rekayasa teknologi dengan memberikan lapisan kedap air pada alas TPA seperti *compacted clay liner* atau *geosynthetic liner* menjadikan area ini layak untuk TPA.

Kata kunci: tempat pembuangan akhir sampah, daya dukung geologi, Magetan

Abstract. Current landfill in Milangasri nearly reach its maximum capacity. The government of Magetan regency plans to build a new landfill in Botok. This research aims to assess the land capability based on geological characteristics of the landfill location. The SNI 03-3241-1994 used as basic criteria for selecting landfill area. Research methods consist of field investigation supported by secondary data. Field investigation consist of geological observation, topography mapping, resistivity survey, core drilling and field permeability testing, and water source observation. Information of potential geological hazard collected as secondary data. The results show that the hydraulic conductivity of the quaternary deposit ranging of 1.26×10^{-2} to 1.59×10^{-2} cm/s, failed to meet the criteria. Therefore, by nature the location candidate not supported geologically as landfill location. However, application of compacted clay liner or geosynthetic liner as the base of the landfill is recommended to improve the capability.

Keywords: landfill, geological capability, Magetan

PENDAHULUAN

Limbah padat adalah kategori sampah yang didefinisikan sebagai campuran yang sangat non-homogen dari sektor perumahan, komersial, dan industri (Adhikari *et al.*, 2018). Komponen utama sampah adalah sisa makanan, kertas, plastik, kain perca, logam, dan kaca, puing-puing pembongkaran dan konstruksi, begitu juga limbah berbahaya dalam jumlah kecil, seperti bola lampu listrik, baterai, suku cadang otomotif, dan obat-obatan sisa serta bahan kimia (Speight, 2015).

Meskipun komposisi limbah padat bisa sangat bervariasi, secara umum bahan organik adalah komponen terbesar. Sampah dan pengelolaannya menjadi masalah yang mendesak di berbagai daerah di Indonesia, sebab apabila tidak dilakukan penanganan yang baik akan mengakibatkan terjadinya pencemaran lingkungan khususnya tanah, air dan udara (Astono *et al.*, 2015). Oleh karena itu untuk mengatasi masalah pencemaran tersebut diperlukan penanganan dan pengendalian terhadap sampah baik secara jumlah, pemrosesan maupun pembuangannya. Pengelolaan sampah dapat

dilakukan dengan cara mengurangi, memanfaatkan kembali dan merubah bentuk lain yang bermanfaat (*reduce, reuse, recycle*). Kebijakan pengelolaan sampah perkotaan merupakan sebuah sistem yang terdiri dari 5 komponen meliputi aspek kelembagaan, aspek pembiayaan, aspek pengaturan (hukum), aspek peran serta masyarakat, dan aspek teknik operasional (Badan Standarisasi Nasional, 2008a).

Pengelolaan sampah dapat dilakukan dengan pengkomposan, pembakaran (*thermal treatment*), dan pembuangan di Tempat Pembuangan Akhir sampah (TPA) (*open dumping*) (Rahman & Al-Muyeed, 2010). Namun demikian, di Indonesia pengolahan sampah sebagian besar menggunakan hanya metode *open dumping* karena prosesnya yang mudah dan murah (Hendra, 2016). Pemilihan dan penentuan lokasi untuk TPA merupakan hal sangat penting dalam upaya menghindari maupun meminimalkan terjadinya dampak negatif terhadap lingkungan dan manusia seperti pencemaran air, tanah, dan udara serta gangguan kesehatan (Kasam,

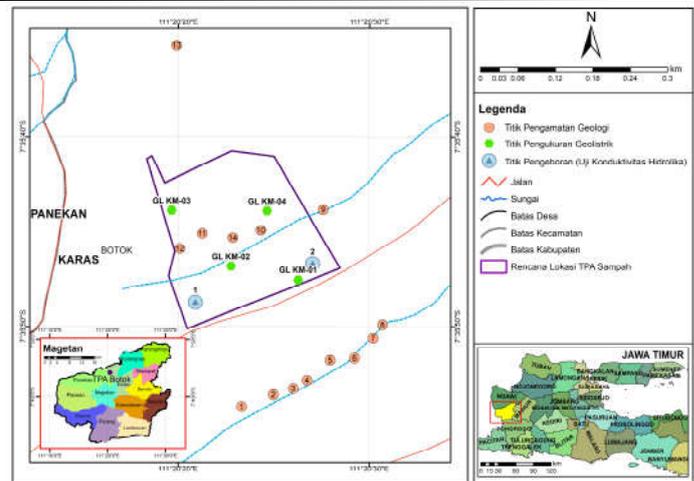
2011; Montgomery, 2011; Putra, 2001). Banyak penelitian telah mendemonstrasikan dan menganalisis kasus kegagalan dan pencemaran di TPA beserta dampak terhadap lingkungan dan manusia (Ahamad *et al.*, 2019; Harahap dkk., 2013; Hidayatullah & Mulasari, 2020; Hussein *et al.*, 2020; Yatim dan Mukhlis, 2013).

Kriteria pemilihan lokasi TPA secara regional harus memenuhi persyaratan alamiah dan non-alamiah seperti disebutkan pada SNI 03-3241-1994 (Badan Standarisasi Nasional, 1994). Bila semua kriteria tersebut terpenuhi, diharapkan lokasi TPA tidak akan mencemari lingkungan. Kriteria alamiah geologi untuk lokasi TPA telah diusulkan dan disebutkan oleh banyak peneliti antara lain Howard & Remson (1978), Wood (1984), Bell *et al.* (1987), Hasan (1996) dan Foley *et al.* (2009). Rangkuman kriteria-kriteria geologi dari pustaka di atas untuk lokasi TPA meliputi aspek batuan dasar/jenis batuan, tingkat kelulusan/permeabilitas batuan, kemiringan lereng, jarak terhadap patahan, kedalaman muka air tanah, dan jarak terhadap sumber mata air. SNI 03-3241-1994 menambahkan aspek potensi bahaya geologi. Berdasarkan syarat-syarat tersebut, maka sebenarnya lokasi TPA yang layak secara geologi akan terbatas.

Pada saat ini Kabupaten Magetan telah memiliki TPA di Desa Milangasri, Kecamatan Panekan dengan daya tampung luas sekitar 4 hektar. Namun, kondisi TPA Milangasri pada tahun 2018 sudah mencapai sekitar 94% dari luas daya tampung. Walaupun pemerintah daerah sudah berusaha untuk mengurangi jumlah sampah mencapai 20% dengan melakukan upaya daur ulang dan produksi kompos (Suhermanto, 2018). Beban sampah sebanyak 125 – 150 m³/hari menyebabkan luas lahan tersisa TPA Milangasri hanya tersisa 2.500 m² pada awal tahun 2018 (Choiri, 2018). Sampah yang dihasilkan masyarakat Kabupaten Magetan diperkirakan sebanyak 250 ton/hari. Kondisi tersebut menyebabkan TPA Milangasri semakin kelebihan beban. Oleh karena itu, Pemerintah Kabupaten Magetan melalui Dinas Lingkungan Hidup merencanakan lokasi Tempat Pembuangan Akhir Sampah (TPA) baru di Desa Botok, Kecamatan Karas.

Tidak dapat dipungkiri bahwa keberadaan TPA pada suatu wilayah akan meningkatkan bahaya dan risiko pencemaran terhadap udara, air tanah, air permukaan, bau dan berkurangnya estetika lingkungan akibat adanya gas maupun air lindi (Kasam, 2011). Risiko ini menjadi lebih tinggi mengingat kondisi geologi Kabupaten Magetan yang seluruh wilayahnya tersusun atas batuan dan endapan vulkanik kuartar (Sampurno & Samodra, 1997). Namun demikian, TPA pada suatu wilayah bila dikelola dengan baik akan memberikan dampak positif bagi lingkungan sekitar baik aspek geofisik, biotis, sosial, ekonomi, budaya dan kesehatan masyarakat (Sukorini *et al.*, 2014).

Penilaian risiko lingkungan dari TPA harus lebih terintegrasi dan holistik berdasarkan sifatnya sebagai sumber polutan multidimensi (Butt *et al.*, 2016). Kajian daya dukung geologi alamiah rencana lokasi TPA sampah sangat berguna untuk menilai kelayakan fisik awal yang penting dalam menentukan lokasi TPA sampah. Pemilihan lokasi TPA sampah tanpa memperhatikan daya dukung geologi dapat meningkatkan risiko terdampak bencana geologi (Susanti dkk., 2020). Kajian daya dukung geologi lingkungan untuk penentuan lokasi TPA di Indonesia telah terbukti dapat dilakukan dan memberikan evaluasi kelayakan lokasi TPA sampah (Affandi, 2015; Eki, 2014; Irawan & Hendrayana, 2005;



Gambar 1. Daerah penelitian, lokasi rencana TPA dan titik-titik observasi/pengukuran.

Irawan & Yudono, 2014; Susanti dkk., 2020; Wibowo, 2008; Zainuri & Sota, 2011). Oleh karena itu, dengan segala keterbatasan kondisi geologi yang ada di Kabupaten Magetan, dan untuk mengurangi serta mencegah dampak keberadaan TPA sebagai sumber polutan terhadap lingkungan, penelitian ini ditujukan untuk melakukan kajian kelayakan daya dukung geologi terhadap rencana lokasi TPA yang baru di Kabupaten Magetan. Kajian ini diharapkan dapat mendukung studi kelayakan yang utuh pada rencana lokasi TPA tersebut.

Daerah penelitian berada di Desa Botok, Kecamatan Karas, Kabupaten Magetan, Provinsi Jawa Timur seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Luas area rencana lokasi TPA sebesar 5,36 hektar. Berdasarkan peta geologi regional lembar Ponorogo, calon lokasi TPA di Desa Botok, Kecamatan Karas terletak pada kaki bagian timur Gunung Lawu berjarak kurang lebih 17 km dari puncak Gunung Lawu dan tersusun atas Formasi Lahar Lawu serta tidak ada patahan geologi yang melalui wilayah ini (Sampurno & Samodra, 1997). Lahar Lawu tersusun atas pasir gunungapi yang bercampur dengan batuan andesit, basal, dan sedikit batuapung dengan ukuran yang beragam. Selain itu, hidrogeologi regional wilayah ini terletak pada zona akuifer produktivitas sedang-tinggi dengan penyebaran luas (Djaeni, 1982).

Hasil pengolahan data curah hujan tahun 2014-2018, hasil rerata curah hujan tahunan di wilayah Kecamatan Karas adalah 2.347 mm/tahun. Nilai tersebut lebih rendah dibandingkan dengan rerata umum curah hujan tahunan di wilayah Kabupaten Magetan. Data curah hujan diperoleh dari laporan Badan Pusat Statistik (2014), Badan Pusat Statistik (2015), Badan Pusat Statistik (2017) dan Badan Pusat Statistik (2018). Selain itu, wilayah Desa Botok tidak terletak pada wilayah cagar alam, suaka margasatwa, atau hutan lindung. Wilayah tapak secara asli merupakan area sawah tadah hujan. Hutan lindung terdekat berada pada lereng timur Gunung Lawu yang berjarak sekitar 10-12 km dari daerah penelitian.

METODE PENELITIAN

Kriteria penentuan kelayakan lokasi TPA mengacu pada SNI 03-3241-1994 tentang tata cara pemilihan lokasi TPA, khususnya pada kriteria alamiah geologi yang digunakan untuk menentukan zona layak atau tidak layak (Badan Standarisasi Nasional, 1994). Kriteria ini meliputi tingkat kelulusan/permeabilitas batuan, kemiringan lereng, kedala-

man muka air tanah, jarak terhadap sumber air serta potensi bahaya geologi termasuk didalamnya keberadaan lokasi dengan patahan Holocene. Berdasarkan SNI 03-3241-1994, suatu lokasi TPA yang layak disebut wajib memiliki kriteria geologi sebagai berikut; batuan dasar memiliki kelulusan batuan $<10^{-6}$ cm/detik, kemiringan lereng $<20\%$, tidak berada pada zona patahan Holocene, kedalaman muka air tanah >3 m, jarak terhadap sumber mata air >100 m, jarak terhadap sungai >100 m dan tidak berada pada zona bahaya geologi.

Untuk mendukung ketepatan pengambilan data, kajian ini dimulai dengan pemetaan topografi dengan melakukan pemetaan menggunakan *drone* DJI Phantom 4 diolah dan diproses menggunakan perangkat lunak Agisoft Photoscan dan Global Mapper untuk menghasilkan topografi rinci daerah rencana lokasi TPA, Desa Botok. Sebagai peta topografi dengan skala yang detil, interval kontur yang dihasilkan yaitu 1 meter. Peta dasar yang dihasilkan dari kegiatan pemetaan topografi digunakan untuk kegiatan observasi lapangan, seperti pengamatan geologi permukaan, pengukuran geolistrik, pengeboran inti dan pengujian permeabilitas batuan di lokasi.

Data geologi permukaan didapatkan dari pengamatan di sekitar daerah rencana lokasi TPA sebanyak 14 titik pengamatan (Gambar 1). Kondisi bawah permukaan yang diidentifikasi berdasarkan pengukuran geolistrik pada empat lokasi dengan metode Schlumberger dengan panjang bentangan setiap lokasi sepanjang 160 meter. Pengukuran geolistrik menggunakan alat Oyo McOhm Model 2115A Mark 2. Interpretasi jenis litologi mendasarkan nilai resistivitas (Rubin & Hubbard, 2005).

Selain itu juga dilakukan pemboran inti pada 2 lokasi dengan kedalaman masing-masing 10 meter untuk mengetahui stratigrafi dan uji permeabilitas lapangan pada kedalaman 3,5 meter dan 9 meter dari permukaan dengan metode *packer test* menurut SNI 2411-2008 (Badan Standarisasi Nasional, 2008b). Pengeboran sedalam 10 meter disesuaikan dengan rencana desain TPA yang mana dasar TPA berada pada kedalaman -8 m dari permukaan tanah. Lokasi pengamatan geologi, titik geolistrik dan pemboran inti diperlihatkan pada Gambar 1. Dalam rangka evaluasi daya dukung geologi untuk rencana lokasi dilakukan dengan mengaplikasikan metode analisis Boolean yaitu analisis “ya” atau “tidak” pada kriteria-kriteria yang digunakan dibandingkan dengan standar SNI 03-3241-1994.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tipe/jenis batuan

Hasil pemetaan geologi permukaan menunjukkan daerah ini tersusun secara dominan oleh endapan kerikil kerakal, pasir kasar, pasir, pasir lempungan, serta beberapa singkapan lapili tuf, breksi vulkanik, bongkah andesit, dan bongkah diorit porfiri. Umumnya breksi vulkanik ditemukan sebagai batuan dasar dari sungai/parit di selatan dan bagian tengah dari rencana lokasi TPA Desa Botok, Kec. Karas. Bongkah andesit dan bongkah diorit porfiri dengan ukuran yang sangat besar umumnya dijumpai berada di atas breksi vulkanik dan lapili tuf serta dijumpai secara setempat-setempat. Kondisi litologi yang menyusun geologi permukaan di daerah penelitian diperlihatkan pada Gambar 2. Namun demikian, hasil dari pemboran inti hingga kedalaman 10 meter menunjukkan kondisi bawah permukaan tersusun oleh lempung, lempung pasir, pasir lempungan, kerikil-kerakal, fragmen andesit dan fragmen breksi vulkanik serta andesit skorian, seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Litologi bawah permukaan hasil deskripsi sampel inti batuan dari sumur pengeboran

Sumur pengeboran 1		Sumur pengeboran 2	
Kedalaman (m)	Litologi	Kedalaman (m)	Litologi
0-0,5	Lempung	0-0,5	Lempung
0,5-1,1	Lempung pasir	0,5-1	Breksi vulkanik
1,1-1,2	Andesit	1-1,5	Kerikil-kerakal
1,2-2	Lempung pasir	1,5-2,25	Pasir kasar
2-2,3	Lanau pasir	2,25-5	Pasir lempungan
2,3-2,75	Pasir lempungan	5-5,2	Lempung pasir
2,75-3	Andesit	5,2-5,9	Pasir kasar
3-5	Lempung pasir	5,9-8,2	Andesit skorian
5-5,3	Andesit	8,2-8,6	Lempung
5,3-7	Breksi vulkanik	8,6-8,8	Pasir kasar
7-7,4	Lempung pasir	8,8-9	Andesit
7,4-8	Breksi vulkanik	9-10	Pasir lempungan
8-9,6	Kerikil-kerakal		
9,6-10	Breksi vulkanik		



Gambar 2. Litologi permukaan di daerah penelitian. (a) Breksi vulkanik di lembah sungai pada STA 4 (49S, E 537587, N 9160128), (b) Lapili tuff pada STA 7 (49S, E 537693, N 9160196), (c) Breksi vulkanik dengan fragmen kerakal-bongkah dan bongkah andesit pada STA 9 (49S, E 537613, N 9160404), dan (d) Bongkah andesit skorian dan diorit porfiri pada STA 13 (49S, E 537378, N 9160669).

Berdasarkan hasil pengukuran geolistrik dapat diketahui kondisi bawah permukaan untuk kedalaman lebih dari -10 m dari permukaan tanah. Secara umum nilai resistivitas yang diperoleh dari pengukuran geolistrik di daerah penelitian berkisar antara 0,48 – 278,47 Ω m menunjukkan litologi

Tabel 2. Nilai resistivitas lapisan endapan/batuan di daerah penelitian hasil pengukuran geolistrik

GL KM-01		GL KM-02		GL KM-03		GL KM-04	
Kedalaman (mdpt)	Res. (Ωm)	Kedalaman (mdpt)	Res. (Ωm)	Kedalaman (mdpt)	Res. (Ωm)	Kedalaman (mdpt)	Res. (Ωm)
0-1,2	18,69	0-0,7	7,57	0-1,5	14,12	0-1,7	0,48
1,2-3	37,27	0,7-5,1	35,44	1,5-6,2	26,24	1,7-8	278,47
3-5,3	8,04	5,1-7	10,75	6,2-10,2	27,40	8-18,7	27,72
5,3-28	62,64	7-18,5	151,38	10,2-29,9	58,63	18,7-28,5	27,76
>28	76,21	18,5-35,2	55,17	>29,9	93,68	>28,5	21,34

Interprestasi*

Resistivitas (Ωm)

0-10

>10-20

>20 - 100

100 - 200

>200

Jenis litologi dominan

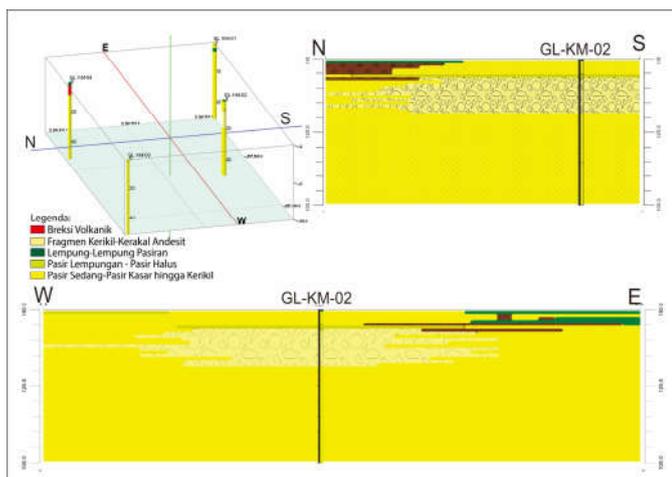
Lempung-lempung pasir

Pasir lempungan-pasir halus

Pasir sedang-Pasir kasar hingga kerikil

Fragmen kerikil-kerakal andesit

Breksi vulkanik



Gambar 3. Penampang vertikal hasil interpretasi pengukuran geolistrik

penyusun antara lain lempung, pasir lempungan, pasir, kerikil-kerakal, dan breksi vulkanik. Hasil pengukuran geolistrik dengan metode Schlumberger di daerah penelitian meliputi interpretasi litologi dan kedalamannya ditunjukkan pada Tabel 2. Sedangkan rangkuman litologi dan korelasi hasil interpretasi dari pengukuran geolistrik disajikan pada Gambar 3.

Gambar 3, dapat dilihat bahwa litologi di daerah penelitian didominasi oleh litologi pasir yang menunjukkan ketidakmenerusan membentuk lensa kerikil kerakal andesit dan lensa-lensa breksi vulkanik. Kondisi stratigrafi seperti ini sesuai dengan konseptual fasies vulkaniklastik gunung api yang memperlihatkan bahwa lensa-lensa konglomerat dilingkupi oleh material pasir merupakan sekuen yang dominan pada area fasies distal yang berjarak kurang lebih 15 km dari puncak Gunung (Vessel & Davis, 1981; Bogie & McKenzie, 1998). Berdasarkan hasil evaluasi di atas, bila dikaitkan

dengan rencana penggalian desain TPA hingga kedalaman 8 meter, maka lapisan dasar dari TPA akan secara dominan berupa endapan pasir kasar hingga kerikil-kerakal fragmen andesit.

Kelulusan batuan

Seperti dijelaskan pada metodologi, nilai kelulusan air (permeabilitas) pada batuan di uji secara langsung di lapangan dengan metode *packer test*. Uji *packer test* ini di lakukan pada dua sumur pengeboran uji pada posisi kedalaman yang berbeda yaitu kedalaman 3,5 m dan 9 m dari permukaan tanah. Pemilihan dua kedalaman ini untuk mengetahui permeabilitas batuan pada kondisi dangkal dan permeabilitas batuan yang direncanakan akan menjadi dasar calon TPA baru Kab. Magetan. Hasil uji lapangan pada sumur uji menghasilkan nilai kelulusan litologi seperti yang disajikan pada Tabel 3.

Nilai kelulusan batuan/endapan berkisar antara $1,26 \times 10^{-2}$ cm/detik hingga $1,59 \times 10^{-2}$ cm/detik. Jika dibandingkan dengan data jenis litologi penyusun, maka uji *packer test* pada sumur uji 1 dilakukan pada litologi andesit lapuk – lempung pasir dan lapisan kerikil-kerakal. Sedangkan pada sumur uji 2, uji *packer test* dilakukan pada lapisan pasir lempungan dan andesit-pasir lempungan dengan fragmen

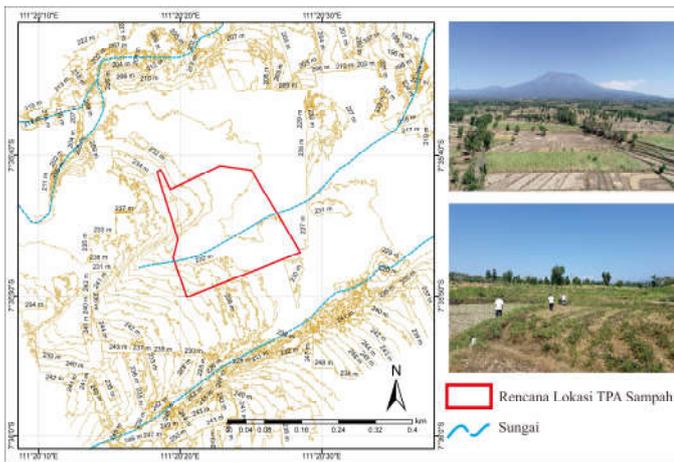
Tabel 3. Hasil uji kelulusan tanah/batuan daerah penelitian

Titik Pengeboran	Kelulusan Batuan/Tanah (cm/detik)	
	Kedalaman 3,5 meter	Kedalaman 9 meter
Sumur uji 1	$1,53 \times 10^{-2}$	$1,59 \times 10^{-2}$
Sumur uji 2	$1,35 \times 10^{-2}$	$1,26 \times 10^{-2}$

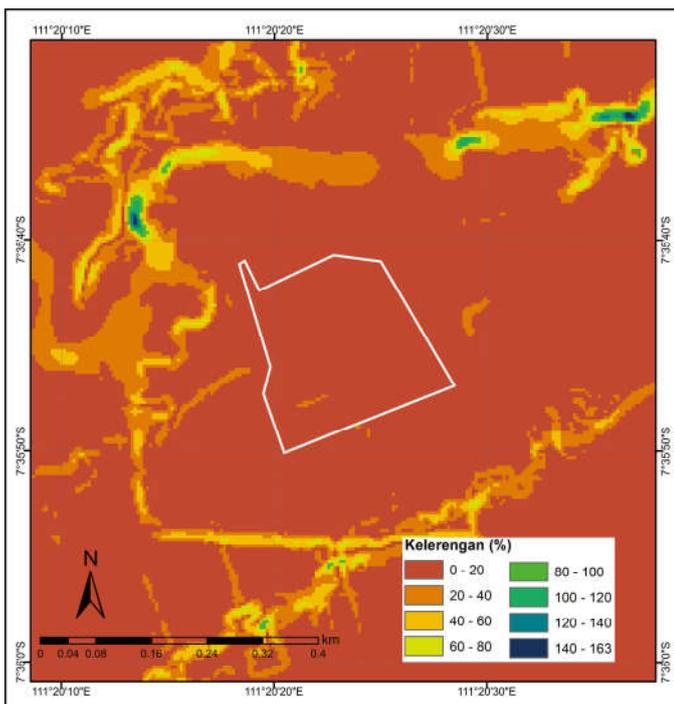
kerakal. Nilai kelulusan batuan tersebut masuk pada klasifikasi batuan atau material yang memiliki nilai kelulusan yang tinggi menurut standar DIN-18130-1 (Hoelting & Coldeway, 2013), serta sesuai dengan interval nilai kelulusan litologi untuk jenis litologi berupa pasir lempungan, pasir hingga kerikil serta batuan beku rekahan (Freeze & Cherry, 1979).

Kelerengan

Kondisi morfologi daerah penelitian diperlihatkan pada Gambar 4 yang menunjukkan lokasi yang relatif datar dan bergelombang. Berdasarkan peta topografi yang dihasilkan dari pengolahan *Digital Elevation Model* hasil pemetaan *drone*, analisis morfologi di daerah penelitian menunjukkan bahwa kelas kelerengan lahan secara umum kurang dari 20%. Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa kelerengan lebih dari 20% berada pada sisi utara dan selatan daerah penelitian



Gambar 4. Peta topografi di daerah penelitian (kontur interval 1 m) dan kondisi asli morfologi; Foto pandangan burung ke arah Gunung Lawu/barat (atas, 49S, E 537751, N 9160479), kondisi morfologi datar bergelombang pada rencana lokasi TPA (bawah, 49S, E 537503, N 9160317).



Gambar 5. Zonasi kelerengan daerah rencana lokasi TPA Sampah dan sekitarnya.

yang merupakan lembah-lembah sungai yang membatasi daerah penelitian. Rencana lokasi TPA berada di tengah lokasi daerah penelitian yang memiliki kelerengan kurang dari 20%.

Air tanah dan sumber air

Seperti disebutkan sebelumnya, secara regional menurut Peta Hidrogeologi Lembar Yogyakarta (Djaeni, 1982), daerah penelitian masuk pada zona akuifer produktif yang berada di lereng-kaki gunung api dengan penyebaran yang luas. Namun kondisi di lapangan menunjukkan hal yang berbeda, secara umum masyarakat di sekitar lokasi kesulitan untuk memanfaatkan air tanah sebagai sumber airnya. Hal ini dibuktikan dengan penyelidikan sumur uji pengeboran yang dilakukan pada 2 lokasi didalam area calon lokasi TPA tidak mencapai muka air tanah, walaupun pengeboran dilakukan hingga 10 m.

Selain itu, hasil observasi lapangan tidak menjumpai adanya mata air atau sumber air alamiah di daerah penelitian. Sungai pada bagian tengah merupakan parit atau tipe sungai ephemeral. Walaupun tidak ada sumber air tanah yang dangkal, di sekitar daerah penelitian, didapatkan pemanfaatan air tanah dalam di sekitar daerah penelitian. Ditemukan ada 2 titik sumur bor dalam yaitu sumur bor PDAM dan sumur bor milik Dinas PU yang diperuntukkan sebagai air irigasi pertanian. Sumur bor PDAM berada pada jarak kurang lebih 1 km di sebelah timur daerah penelitian, sedangkan sumur bor Dinas PU berada di hilir daerah penelitian dengan jarak kurang lebih 1,1 km. Kedalaman muka air tanah statik pada sumur bor Dinas PU diketahui sekitar 30 meter dari permukaan tanah dengan kedalaman pengeboran hingga kurang lebih 100 m.

Ancaman bahaya geologi

Berdasarkan peta geologi lembar Ponorogo (Sampurno & Samudro, 1997) dan peta sumber gempa wilayah Jawa (PUPR, 2017), daerah calon lokasi TPA tidak berada pada lokasi sesar/patahan aktif sebagai sumber gempa. Patahan aktif terdekat yang dapat menjadi sumber gempa yaitu Bari-bis-Kendeng Fold-Thrust Zone pada segmen Cepu yang memiliki pergerakan 0,1 mm/tahun dengan potensi magnitudo gempa sebesar 6,5 SR (PUPR, 2017). Lokasi patahan aktif ini berjarak sekitar 42 km di utara dari calon lokasi TPA. Selain itu, berdasarkan peta kerentanan gerakan tanah, daerah calon lokasi TPA di Desa Botok merupakan wilayah dengan kerentanan gerakan tanah yang rendah (PVMBG, 2016).

Tidak ditemukan data ataupun catatan terjadinya banjir di daerah calon lokasi TPA dalam 50 tahun terakhir. Selain bahaya-bahaya geologi tersebut, bahaya geologi yang lain tentunya adalah bahaya letusan Gunung Api Lawu. Namun, Gunung api Lawu diketahui sebagai gunung api berfase *dormant* dan erupsi terakhir tercatat pernah terjadi pada tahun 1885, walaupun demikian Gunung Lawu masih mempunyai kemungkinan erupsi di masa depan (Hadian, 1992).

Peta bahaya erupsi Gunung Lawu yang diterbitkan pada tahun 1992 membagi area bahaya erupsi Gunung Lawu menjadi tiga zona yaitu zona bahaya 1 yaitu zona paling berbahaya akibat letusan langsung, aliran lava dan aliran piroklastik, zona bahaya 2 yaitu zona bahaya aliran lahar dan lumpur material vulkanik, dan zona bahaya 3 yaitu zona bahaya jatuhnya debu piroklastik (Direktorat Vulkanologi, 1992). Rencana lokasi TPA di daerah penelitian terletak pada zona

Tabel 4. Rangkuman status kelayakan daya dukung geologi pada lokasi TPA Desa Botok.

Kriteria Geologi	Standar SNI 03-3241-1994	Kondisi Kriteria di Rencana Lokasi TPA	Penilaian Persyaratan
Kelulusan batuan	Kelulusan batuan/tanah < 10^{-6} cm/detik.	Kelulusan batuan $1,26 \times 10^{-2}$ sampai $1,59 \times 10^{-2}$ cm/detik	Tidak
Kelerengan	Kelerengan < 20%	Kelerengan < 20%	Ya
Kedalaman air tanah	Kedalaman muka air tanah > 3 meter	Kedalaman muka airtanah kurang lebih 30 meter	Ya
Sumber air	Jarak terhadap sumber air minimum > 100 meter di hilir aliran.	Jarak terhadap sumber air terdekat 1 km	Ya
Patahan aktif	Tidak berlokasi di zona patahan aktif/ <i>holocene fault</i> .	Tidak berada pada daerah yang terlewati patahan aktif/ <i>holocene fault</i> .	Ya
Bahaya geologi	Tidak boleh di zona bahaya geologi dan banjir	Tidak berada pada zona bahaya geologi dan banjir	Ya

bahaya 3 atau bahaya jatuhnya debu piroklastik. Hal ini ditunjukkan juga di lapangan dengan dominasi endapan-endapan berbutir pasir hingga yang lebih halus dan lapili tuf di lokasi rencana TPA.

Kelayakan daya dukung geologi

Kelayakan area calon lokasi TPA di Desa Botok terangkum berdasarkan kriteria geologi yang terdapat di SNI 03-3241-1994 dapat dilihat pada Tabel 4. Dari Tabel 4 ini dapat ditunjukkan bahwa hampir seluruh kriteria geologi SNI 03-3241-1994 dinilai memenuhi ("YA"), namun, terdapat satu kriteria yang tidak memenuhi persyaratan ("TIDAK"), yaitu kelulusan batuan.

Kelulusan batuan di rencana lokasi TPA di Desa Botok memiliki kelulusan berkisar $1,26 \times 10^{-2}$ sampai $1,59 \times 10^{-2}$ cm/detik. Nilai ini sesuai dengan dominasi jenis litologi yang menyusun area calon lokasi TPA yang berupa kelompok litologi pasir-kerikil, baik secara lateral maupun vertikal.

SNI 03-3241-1994 menyebutkan juga bahwa dalam hal penempatan TPA tidak dapat dihindari berada pada lokasi yang tidak memenuhi syarat kelulusan batuan, maka lokasi tersebut harus direkayasa secara teknologi. Teknologi yang dimaksud adalah dengan menempatkan TPA sampah berada di atas lapisan kedap air dengan menempatkan lapisan kedap alamiah dan/atau lapisan kedap artifisial seperti geosintetis dan/atau bahan lain yang memenuhi persyaratan kelulusan hidrogeologi tidak lebih besar dari 10^{-6} cm/detik. Fungsi dari lapisan kedap air ini adalah menahan air lindi sehingga tidak merembes masuk ke lingkungan.

Teknologi tersebut saat ini dianggap teknologi yang aman dan telah diaplikasikan secara luas di negara Asia (Ng & Ramsey, 2012). Lapisan kedap air alamiah sering disebut sebagai *Compacted Clay Liner* (CCL) dan lapisan kedap air artifisial dari bahan plastik dikenal dengan nama *Geosynthetic liner* (GL) yang terbuat dari *polyethylene* seperti HDPE atau LLDPE dengan kelulusan kurang dari 10^{-12} cm/detik. Pada pelaksanaannya, kedua tipe pelapis itu sering digabungkan dan diistilahkan sebagai *Geosynthetic Clay Liner* (GCL). Pada penelitian ini, detail spesifikasi CCL atau GL atau GCL belum dapat ditentukan karena belum ada *Detail Engineering Design* rencana konstruksi TPA yang ten-

tunya berkaitan dengan rencana beban tonase sampah yang akan ditimbun dan aspek keteknikan lainnya, karena tahapan kegiatan baru pada tahap apakah lokasi calon TPA ini layak secara teknis. Namun secara sederhana menurut Ng & Ramsey (2012), diantara bahan plastik yang dimanfaatkan untuk geomembran, tipe *high density polyethylene* (HDPE), memiliki sifat hidrolik dan mekanik yang superior karena adanya kombinasi dengan ketahanan kimia yang lebih besar, stabilitas panas dan ketahanan terhadap degradasi sinar ultra violet (UV). Ng & Ramsey (2012) menyebutkan penggunaan HDPE dengan ketebalan 0,7 mm memberikan instalasi yang paling efisien dari sisi lingkungan dan biaya konstruksi. Tetapi perlu dipahami juga bahwa *Geosynthetic liner* memiliki keterbatasan waktu layanan teknis. Hanya saja standar aturan mengenai batas waktu teknis HDPE di Indonesia belum ada, bahkan di negara maju di USA juga tidak ada standar waktu teknis ini.

Jafari *et al.* (2014) menyebutkan bahwa negara yang memiliki aturan waktu teknis ini adalah Kanada, dimana menurut Ontario Regulation 232/98 waktu teknis aplikasi HDPE sebagai lapisan kedap air primer harus dapat bekerja hingga kurun waktu 150 tahun. Periode waktu teknis ini disebutkan berbeda-beda walaupun jenis lapisan geosintetik yang digunakan sama karena dipengaruhi oleh kondisi geologi, gradien suhu pada TPA dan tentu saja proses instalasi/konstruksi lapisan HDPE tersebut (Jafari *et al.*, 2014).

Oleh karena itu, pada konstruksi lapisan geosintetik/geomembran TPA di Desa Botok, Kec. Karas, Kab. Magetan ini perlu tetap memperhatikan kondisi geologi serta mengaplikasikan sistem pengolah air lindi (*leachate*) dan jaringan sumur pantau untuk memastikan kedekatan lapisan kedap air yang digunakan. Walaupun secara teknologi, kekurangan daya dukung geologi dapat dipenuhi, kajian rencana lokasi TPA baru ini perlu dilanjutkan dengan evaluasi kriteria regional dan penyisih lain yang tercantum pada SNI 03-3241-1994. Adapun kriteria lain yang masih perlu dievaluasi adalah kriteria regional yaitu jarak dari lapangan terbang dan cagar alam serta kriteria penyisih berupa kondisi iklim, utilitas, lingkungan biologis, kondisi tanah, demografi, batas administrasi, kebisingan, bau, estetika dan ekonomi.

KESIMPULAN

Kajian daya dukung geologi pada rencana lokasi TPA baru di Desa Botok, Kecamatan Karas, Kabupaten Magetan mengacu pada kriteria geologi yang ada pada SNI 03-3241-1994. Aspek geologi yang diperhatikan adalah tingkat kelulusan/permeabilitas batuan, kemiringan lereng, kedalaman muka air tanah, dan jarak terhadap sumber mata air serta potensi bahaya geologi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua parameter memenuhi persyaratan kecuali parameter kelulusan batuan. Sehingga secara kondisi geologi alamiah, daerah ini kurang layak untuk dijadikan sebagai lokasi TPA. Namun demikian, kondisi ini dapat direkayasa dengan aplikasi teknologi agar sesuai dengan kriteria.

Teknologi yang dimaksud adalah dengan melakukan konstruksi lapisan kedap air dari *compacted clay liner* (CCL) atau lapisan geosintetik/geomembran (HDPE) maupun kombinasi dari kedua lapisan tersebut yang disebut *geosynthetic clay liner* (GCL) sebagai alas TPA. Jika lapisan geosintetik/geomembran yang dipilih maka aplikasi lapisan geomembran HDPE dengan ketebalan minimal 0,7 mm disarankan untuk digunakan, walaupun tentunya spesifikasi detail tetap harus diperhitungkan lagi secara teknis setelah *Detail Engineering Design* dari calon TPA ini selesai ditentukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Dinas Lingkungan Hidup Kab. Magetan dan Kepala Desa Botok, serta Pusat Studi Lingkungan Hidup UGM yang telah mendukung kegiatan penelitian ini. Selain itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada Bp. Joko Riyanto, Raja Susatio dan Egy Erzagian atas bantuannya pada kegiatan pengambilan data geolistrik dan pemetaan *drone*.

KONTRIBUSI PENULIS

Penulis Pertama mendesain metode penelitian, analisis data dan interpretasi hasil, dan membuat naskah publikasi; Penulis Kedua melakukan pengambilan data lapangan, analisis data dan menyusun naskah publikasi; Penulis Ketiga melakukan pengambilan data lapangan dan analisis data; Penulis Keempat melakukan pengambilan data lapangan dan reviu naskah publikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhikari, S., Nam, H., & Chakraborty, J. P. (2018). *Conversion of Solid Wastes to Fuels and Chemicals through Pyrolysis*. In T. Bhaskar, A. Pandey, S.V. Mohan, D.J. Lee, S.K. Kanal (Ed.), *Waste Biorefinery: Potential and Perspectives*. Amsterdam: Elsevier. p.239-263.
- Affandi, D. (2015). *Pengkajian Geologi, Hidrogeologi, Geoteknik pada Rencana TPA Pomalaa*. Paper dipresentasikan pada Seminar Nasional Teknik Sipil 5 Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Ahamad, A., Raju, N.J., Madhav, S., Gossel, W., & Wycisk, P. (2019). Impact of non-engineered Bhalswa landfill on groundwater from Quaternary alluvium in Yamuna flood plain and potential human health risk, New Delhi, India. *Quaternary International*, 507, 352-369.
- Astono, W., Purwaningrum, P., & Wahyudyanti, R. (2015). Perencanaan tempat pembuangan akhir sampah dengan menggunakan metode sanitary landfill studi kasus: Zona 4 TPA Jatiwaringai, Kabupaten Tangerang. *Journal Teknik Lingkungan (JTL)*, 7(1), 7 -16.
- Badan Pusat Statistik. (2014). *Kabupaten Magetan Dalam Angka 2014*. Magetan: BPS Kabupaten Magetan.
- Badan Pusat Statistik. (2015). *Kabupaten Magetan Dalam Angka 2015*. Magetan: BPS Kabupaten Magetan.
- Badan Pusat Statistik (2017). *Kabupaten Magetan Dalam Angka 2017*. Magetan: BPS Kabupaten Magetan.
- Badan Pusat Statistik. (2018). *Kabupaten Magetan Dalam Angka 2018*. Magetan: BPS Kabupaten Magetan.
- Badan Standarisasi Nasional. (1994). *SNI 03 - 3241 - 1994: Tata Cara Pemilihan Lokasi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah*. Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional (2008a). *SNI 3242:2008: Pengelolaan sampah di permukiman*. Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008b). *SNI 2411:2008: Cara uji kelulusan air bertekanan di lapangan*. Badan Standarisasi Nasional.
- Bell, F. G., Cripps, J. C., Culshaw, M. G., & O'Hara, M. (1987). *Aspects of Geology in Planning*. In M. G. Culshaw, F. G. Bell, J. C. Cripps, & M. O'hara (Ed.), *Planning and Engineering Geology*. Geological Society Engineering Geology Special Publication, 4, 1-38.
- Bogie, I., & Mackenzie, K. (1998). *The application of a volcanic facies model to an andesitic stratovolcano hosted geothermal system at Wayang Windu, Java, Indonesia*. Dipresentasikan pada The 20th NZ Geothermal Workshop.
- Butt, T.E., Javadi, A.A., Nunns, M.A., & Beal, C.D. (2016). Development of a conceptual framework of holistic risk assessment - Landfill as a particular type of contaminated land. *Sci Total Environ*, 569-570, 815-829.
- Choiri. (2018, 2 Maret). TPA di Magetan Overload. *Kanalindonesia*. Diakses tanggal 29 Juni 2020 dari <https://kanalindonesia.com/37856/2018/03/02/tpa-sampah-di-magetan-overload/>.
- Direktorat Vulkanologi. (1992). *Peta Bahaya Erupsi Gunung Lawu*. Bandung: Direktorat Jenderal Geologi dan Sumber Daya Mineral.
- Djaeni, A. (1982). *Peta Hidrogeologi Indonesia Lembar IX Yogyakarta (Jawa)*. Bandung: Direktorat Geologi Tata Lingkungan.
- Freeze, R. A., & Cherry, J. A. (1979). *Groundwater*. New Jersey: Prentice Hall Inc. 604p.
- Foley, D., McKenzie, G. D., & Utgard, R. O. (2009). *Investigations in Environmental Geology, 3rd Edition*. New Jersey: Prentice Hall Pearson. 288p.
- Hadian, R.. (1992). *Berita Berkala Vulkanologi, Edisi Khusus: Gunung Lawu*. Bandung.
- Harahap, A., Naria, E., & Santi, D. N. (2013). Analisis Kualitas Air Sungai Akibat Pencemaran Tempat Pembuangan Akhir Sampah Batu Bola dan Karakteristik Serta Keluhan Kesehatan Pengguna Air Sungai Batang Ayumi di Kota Padangsidimpuan Tahun 2012. *Lingkungan dan Keselamatan Kerja*, 2(2), 1-9.
- Hasan, E. S. (1996). *Geology and Hazardous Waste Management*. Prentice Hall Upper Saddle River, New Jersey.
- Hendra Y. (2016). Perbandingan Sistem Pengelolaan Sampah Di Indonesia Dan Korea Selatan: Kajian 5 Aspek Pengelolaan Sampah. *Journal Aspirasi*, 7(1), 77-91.
- Hidayatullah, F., & Mulasari, S. A. (2020). Literature Review: Gangguan Saluran Penapasan Akibat Pencemaran Udara di Lingkungan Tempat Pembuangan Akhir (TPA). *Jurnal Kesehatan*, 13(2), 119-130.
- Hoeltling, B., & Coldeway, W. G. (2013). *Hydrogeologie: Einfuehrung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie*. Auflage: Springer. 438p.
- Howard, A., & Remson, I. (1978). *Geology in Environmental Planning*. USA: McGrawHill, Inc.
- Hussein, M., Yoneda, K., Mohd-Zaki, Z., Amir A., & Othman, N. (2020). Heavy metals in leachate, impacted soils and natural soils of different landfills in Malaysia: An alarming threat. *Chemosphere*, 128878.
- Irawan, W., & Hendrayana, H. (2005). *Kajian geologi lingkungan untuk penentuan lokasi tempat pembuangan akhir (TPA)*

- sampah daerah Kabupaten Pacitan, Jawa Timur (Tesis S2). Yogyakarta: S2 Teknik Geologi UGM.
- Irawan, A. B., & Yudono, A. R. A. (2014). Studi Kelayakan Penentuan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPA) di Pulau Bintan Propinsi Kepulauan Riau. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, Vol 12(1), 1-11.
- Jafari, N.H., Stark, T.D., & Rowe, R.K. (2014). Service Life of HDPE Geomembranes Subjected to Elevated Temperature. *Journal of Hazardous, Toxic and Radioactive Waste*, Vol. 18(1), 16-26.
- Kasam. (2011). Pencemaran udara, pencemaran air tanah, berkurangnya estetika lingkungan dan pencemaran air permukaan yang disebabkan adanya timbunan gas, aliran lindi, rembesan lindi pada tanah serta bau. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 3(1), 19-30.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR). (2017). *Peta Sumber dan bahaya Gempabumi di Indonesia*. Jakarta: PUPR.
- Montgomery, C. W. (2011). *Environmental Geology, Ninth Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Ng, H.B., & Ramsey, B. (2012). Geosynthetic Lining System for Modern Waste Facilities – Experiences in Developing Asia. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS and AGSSEA*, Vol.43(3), 62-67.
- Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. (2016). *Peta Kerentanan Gerakan Tanah Kabupaten Magetan*. Bandung: Badan Geologi.
- Putra, D. P. E. (2001). *Pencemaran Leachate pada Airtanah di Area Tempat Pembuangan Akhir Sampah Piyungan dan Sekitarnya, Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul, Yogyakarta* (Tesis S2). Yogyakarta: S2 Teknik Geologi UGM.
- Rahman, M. H., & Al-Muyeed, A. (2010). *Solid and Hazardous Waste Management*. Dhaka: ITN-BUET Centre for Water Supply and Waste Management. 218p.
- Rubin, Y., & Hubbard, S. (2005). *Hydrogeophysics*. Dordrecht, The Netherlands: Springer. 523p.
- Sampurno, & Samodra, H. (1997). *Peta Geologi Lembar Ponorogo, Jawa*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Speight, J. (2015). Waste gasification for synthetic liquid fuel production, in: Gasification for Synthetic Fuel Production: Fundamentals, Processes and Applications. *Woodhead Publishing Series in Energy*, 277-301. <https://doi.org/10.1016/B978-0-85709-802-3.00012-6>.
- Suhermanto, A. (2018). Sistem Pengelolaan Sampah di Kabupaten Magetan. *Jurnal Ilmu Administrasi Publik*, 5(2), 200-220.
- Sukorini, T., Budiastuti, S, Ramelan, A. H., & Kafiar. F. P. (2014). Kajian Dampak Timbunan Sampah Terhadap Lingkungan Di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Putri Cempo Surakarta. *Jurnal EKOSAINS*, 6(3), 56-70.
- Susanti, E. K., Salampak, & Segah, H. (2020). Evaluasi Kelayakan Berdasarkan Aspek Geologi Lingkungan Untuk Penentuan TPA Kota Palangka Raya. *Journal of Environment and Management*, 1(1), 57-68.
- Vessel, R. D., & Davis, D. K. (1981). Nonmarine sedimentation in an active fore arc basin. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Paper*, 31, 31-45.
- Wood, F. E. (1984). *Groundwater Contamination from Hazardous Waste*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Wibowo, M. (2008). Aspek Geohidrologi dalam Penentuan Lokasi Tapak Tempat Pembuangan Akhir Sampah (TPA). *Jurnal Hidrosfir Indonesia*, 3(1), 1-6.
- Yatim, E. M., & Mukhlis. (2013). Pengaruh Lindi (*Leachate*) Sampah terhadap Air Sumur Penduduk Sekitar Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Air Dingin. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Andalas*, 7(2), 54-59.
- Zainuri, A., & Sota, I. (2011). Identifikasi Daya Dukung Batuan untuk Rencana Lokasi Tempat Pembuangan Sampah di Desa Tulaa, Bone Bolango. *Jurnal Fisika Flux*, 8(2), 126-134.