

ASESMEN SUMBERDAYA WARISAN GEOLOGI SEMBURAN LUMPUR DI KECAMATAN SEDATI, KABUPATEN SIDOARJO

Amien Widodo¹, Juan Pandu Gya Nur Rochman¹, Anik hilyah¹, Dhea Pratama Novian¹

Teknik Geofisika, FTSPK, ITS
e-mail : amienwidodo@geofisika.its.ac.id

Abstrak. Cekungan Jawa Timur Utara memiliki cadangan minyak dan gas bumi (migas) yang tinggi sekaligus menyimpan potensi semburan lumpur yang signifikan. Fenomena semburan lumpur ini menjadi suatu warisan geologi yang memiliki nilai aspek sejarah dan sangat penting dalam pengembangan penelitian. Keberadaan kawasan semburan lumpur di kawasan Kota Surabaya dan sekitarnya masih mendapatkan perhatian yang minim dari masyarakat serta pemerintah daerah setempat. Hal inilah yang mendorong dilakukannya penelitian berupa kajian kebumian dan asesmen dari warisan geologi semburan lumpur di kawasan ini, terkhusus pada Gunung Lumpur Kalanganyar, Sedati. Metode penilaian berdasarkan Petunjuk Teknis Asesmen Sumber Daya Geologi yang disusun oleh Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) berupa model asesmen untuk menilai potensi suatu situs warisan geologi, melalui beberapa kriteria, indikator dan parameter secara kuantitatif. Asesmen kuantitatif ini didasarkan pada faktor bobot meliputi penilaian suatu situs warisan geologi berdasarkan pada nilai - nilai sains, nilai – nilai edukasi, nilai – nilai pariwisata, dan penilaian pada resiko degradasinya. Asesmen sumberdaya warisan geologi ini didukung dengan aplikasi metode geofisika berupa Metode Magnetik, dimana metode ini memanfaatkan anomali magnet di suatu lokasi untuk dapat memperkirakan kondisi bawah permukaan suatu lokasi penelitian. Hasil dari akuisisi magnetik didapatkan dugaan struktur patahan di daerah tersebut. Dari integrasi informasi yang didapatkan antara studi literatur dari penelitian terdahulu, aplikasi Metode Magnetik, serta asesmen langsung di lapangan di dapatkan masuk kategori baik sebagai suatu sumberdaya warisan geologi. Masyarakat lokal diharapkan mempunyai pemahaman dan bersama-sama pemerintah membantu dalam membangun, menjaga dan pengembangan kawasan semburan lumpur di kawasan ini, terutama Gunung Lumpur Kalanganyar, Sedati, sebagai kawasan wisata warisan geologi di kawasan Surabaya-Sidoarjo

Kata Kunci: Asesmen Kuantitatif; Semburan Lumpur; Warisan Geologi; Sedati; Sidoarjo.

Abstract. *An The North East Java Basin has high reserves of oil and natural gas (oil and gas) as well as a significant potential for mudflows. The mudflow phenomenon is a geological heritage that has historical value and is very important in research development. The existence of the mudflow area in the city of Surabaya and its surroundings still receives minimal attention from the community and local government. This is what prompted the research in the form of a geological study and an assessment of the geological heritage of the mudflow in this area, especially at Kalanganyar Mud Volcano, Sedati. The assessment method is based on the Geological Resources Assessment Technical Guidelines compiled by the Geology Agency, Ministry of Energy and Mineral Resources (ESDM) in the form of an assessment model to assess the potential of a geological heritage site, through several criteria, indicators and parameters quantitatively. This quantitative assessment is based on weight factors including the assessment of a geological heritage site based on scientific values, educational values, tourism values, and an assessment of the risk of degradation. The study of geological heritage resources is supported by the application of the geophysical method in the form of the Magnetic Method, where this method utilizes magnetic anomalies at a location to estimate the subsurface conditions of a research location. The results of the magnetic acquisition obtained an alleged fault structure in the area. From the integration of information obtained between literature studies from previous research, the application of the Magnetic Method, and direct assessments in the field, it was found to be in a good category as a geological heritage resource. The local community is expected to have an understanding and together with the government to help build, maintain and develop the mudflow area in this area, especially Mount Lumpur Kalanganyar, Sedati, as a geological heritage tourism area in the Surabaya-Sidoarjo area.*

Keywords: *Geoheritage; Mud Volcano; Quantitative Assessment; Sedati; Sidoarjo.*

PENDAHULUAN

Fenomena semburan atau rembesan lumpur di kawasan sekitar Kota Surabaya dan sekitarnya menjadi menarik untuk diteliti lebih jauh. Informasi terkait gambaran lokasi penelitian dan sebagai rujukan dengan mendapati bahwa semburan lumpur di sekitar Kota Surabaya dan sekitarnya merupakan suatu kondisi geologi yang menarik (Bahri dan Madlazim, 2012; Widodo dkk., 2020). Keberadaan semburan lumpur ini merupakan bentuk dari mud volcano yang muncul ke permukaan, dimana terdapat 14 mud volcano di Pulau Jawa, dimana 12 diantaranya terdapat di Jawa Timur (Hurun, 2016; Syaifuddin dkk., 2016; Sholikha dan Santosa, 2016). Keberadaan mud volcano seringkali diasosiasikan dengan keberadaan minyak dan gas bumi, struktur patahan dan potensi bencana (Bahri dan Madlazim, 2012). Salah satu mud volcano yang menjadi target pada penelitian ini adalah mud volcano Kalanganyar, yang terletak di Kecamatan Sedati, Kabupaten Sidoarjo.

Mud volcano Sedati sendiri dilalui oleh Patahan Watu Kosek yang membentuk suatu kemenerusan beberapa mud volcano meliputi Lumpur Sidoarjo (LUSI), Pulungan, Kalanganyar, Gunung Anyar, Socah, dan Bujel Tasek dengan orientasi barat daya-timur laut, dimana jika diteruskan ke arah barat daya akan menerus menuju Gunung Penanggungan dan Kompleks Gununggapi Arjuno-Welirang, serta terdapat suatu kemenerusan mud volcano berorientasi barat-timur sepanjang Purwodadi-Cepu-Jombang-Madura yang membentuk beberapa mud volcano seperti Bledug Kuwu, Bledug Kesongo, Gunung Anyar, Kalanganyar, hingga LUSI dan Bujel Tasek (Sukardi, 1992 dalam Wardana, 2016; Satyana, 2007; Burhannudinnur dkk., 2012; Istadi dkk., 2012; Hurun, 2016; Sholikha dan Santosa, 2016; Syaifuddin dkk., 2016). Secara tektonostratigrafi berada pada sistem elisional depresi Zona Kendeng yang telah aktif sejak Plio-Pleistosen, terdiri atas sedimen lempungan dengan sisipan endapan pasir sangat tebal dalam waktu singkat membuatnya tidak terkompaksi sempurna, labil, overpressured, transformasi mineral lempung smektit ke ilit yang intensif dengan gradien

geotermal yang tinggi akibat berbatasan dengan jalur gununggapi di sebelah selatan membuatnya terkompresi kuat membentuk jalur antiklinorium, dimana tepat pada lokasi semburan lumpur diduga merupakan puncak dari Antiklin Guyangan yang merupakan perpanjangan dari struktur Antiklin Sekarputih, dimana litologi yang ditemukan pada Gunung Lumpur Kalanganyar memiliki kesamaan dengan Gunung Lumpur di Gunung Anyar, Surabaya, yang terdiri atas material sedimen berbutir pasir halus hingga lempung dengan bentukan struktur mud cracks saat mengering, disertai dengan munculnya minyak mentah berwarna kehitaman dalam jumlah kecil, dan juga terdapat beberapa material hasil erupsi mud volcano seperti marl, limestone, calcareous sandstone, molluc sandstone (grenzbank), dan silt (Satyana, 2007; Burhannudinnur dkk., 2012; Istadi dkk., 2012).

Jika didasarkan pada beberapa survei geofisika yang telah dilakukan sebelumnya, didapati adanya nilai resistansi listrik dari survei geolistrik pada batuan bawah permukaan Gunung Lumpur Kalanganyar, Sedati, memiliki nilai tahanan jenis listrik dengan rentang nilai 0,17 Ωm – 6,033 Ωm yang mengindikasikan adanya material lempung hingga lanau yang menjadi komposisi terbanyak penyusun lumpur, dengan arah persebaran lumpur relatif merata dengan luasan sekitar 2 hektar yang berpusat di pusat semburan lumpur dengan jalur intrusi lumpur yang terindikasi berada di bagian barat kawasan mud volcano (Firdaus, 2018). Selain itu, hasil survey mikrotremor di area tersebut mengindikasikan terdapat patahan yang melewati area tersebut (Arwananda dkk., 2017; Widodo dkk., 2020). Lebih lanjut Pada karakterisasi geokimia menggunakan isotop karbon GC-C-IRMS untuk senyawa karbon didapati adanya kandungan hidrokarbon yang cukup bervariasi dari rentang 0.06 mol% hingga 77,9 mol% pada beberapa mud volcano yang ada di Pulau Jawa, dimana untuk mud volcano Kalanganyar berada pada kategori rendah (14,31-20,62 mol%), serta berdasarkan rasio isotop karbon metana mendapati mud volcano Kalanganyar memiliki sampel gas yang berasosiasi

dengan produk biogenik, dimana rasio isotop karbon terukur sebesar -58,52 o/oo PDB, yang didasarkan pada variasi gas kering biogenik, gas asosiasi minyak hingga gas kondensat kering termogenik (Burhannudinnur dkk., 2012). Sedangkan untuk aplikasi remote sensing, digunakan PS-InSAR untuk mendapatkan hasil interpretasi dari deformasi yang terjadi di sekitar manifestasi semburan lumpur di kawasan Gunung Lumpur Kalanganyar, Sedati, dimana teridentifikasi adanya pola deformasi berdasarkan citra satelit ALOS PALSAR 1 pada rentang tahun 2007-2009 mengalami kenaikan muka tanah sebesar 34,73 mm/tahun dan disisi lain juga mengalami penurunan muka tanah sebesar 27,83 mm/tahun. Pola deformasi dari pengolahan PS-InSAR pada citra satelit Sentinel 1A pada rentang tahun 2015-2019 menunjukkan kenaikan muka tanah dalam radius berkisar 4,5 kilometer dari pusat semburan lumpur sebesar 0,99 mm/tahun, namun pada bagian barat laut wilayah penelitian mengalami penurunan muka tanah sebesar 6,81 mm/tahun, dimana material yang bersifat unconsolidated membuatnya rawan terjadi penurunan muka tanah akibat pembebanan maupun adanya proses pemadatan material lumpur, sehingga adanya deformasi dan penurunan muka akan membuat adanya potensi perubahan morfologi akibat manifestasi semburan lumpur yang diikuti perubahan kondisi geologi dan lingkungan (Syahputri dkk., 2021).

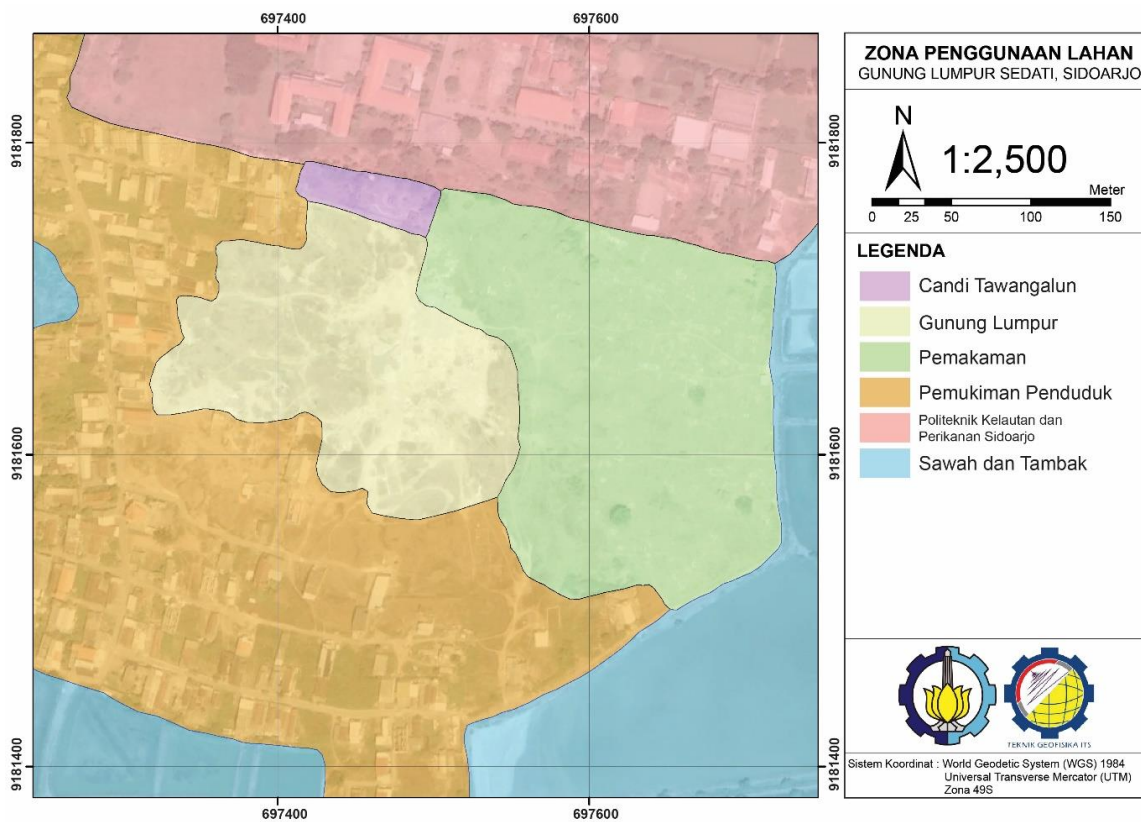
METODOLOGI

Untuk mendukung asesmen sumberdaya warisan geologi yang dimiliki Gunung Lumpur Kalanganyar, Sedati, maka dilakukan pengukuran metode geofisika berupa metode magnetic untuk mengetahui persebaran medan magnet lokal dan regional pada kawasan mud volcano ini. Terdapat 58 titik pengukuran ditambah dengan 1 titik base

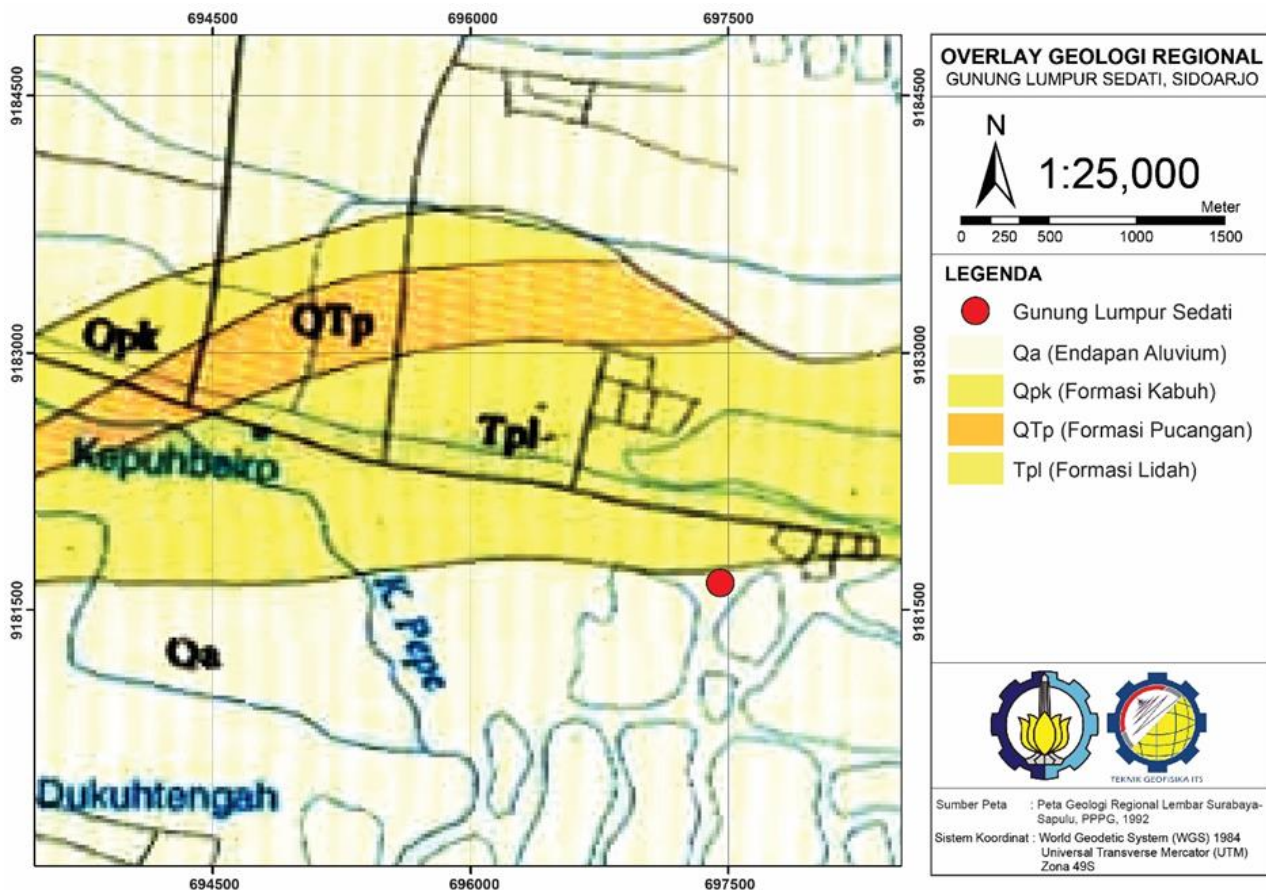
magnetik yang mengelilingi kawasan mud volcano ini. Lokasi setiap titik akuisisi data beserta lokasi titik base magnetik terdapat pada Gambar 1, dimana 58 titik akuisisi data terbagi dalam 7 lintasan berorientasi barat-timur, dimana titik base berada tepat didepan Candi Tawangalun yang terletak tepat dibagian utara kawasan mud volcano. Gunung Lumpur Kalanganyar, Sedati, ini sendiri dikelilingi oleh beberapa zona penggunaan lahan seperti yang terlihat pada Gambar 2, dimana mud volcano ini dikelilingi oleh pemukiman penduduk di bagian barat dan selatan, pemakaman dibagian timur, sawah dan tambak berada di selatan, juga Candi Tawangalun serta Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo berada di bagian utara kawasan ini. Kawasan Gunung Lumpur Kalanganyar, Sedati, ini jika ditinjau dari peta geologi regional lembar Surabaya-Sapulu yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi pada 1992, memberikan informasi bahwa area mud volcano ini berada diantara Formasi Lidah (Tpl) yang berusia Tersier dan area Endapan Aluvium (Qa) yang merupakan endapan baru berusia Kuartar. Gambar 3 menunjukkan titik lokasi Gunung Lumpur Kalanganyar, Sedati, berdasarkan peta geologi regional tersebut. Jika ditinjau lebih detail terkait litologi yang membentuk kawasan Gunung Lumpur Kalanganyar, Sedati, berdasarkan peta geologi regional tersebut, Formasi Lidah (Tpl) terdiri atas batulempung biru, setempat kehitaman, kenyal, pejal dan keras bila kering, miskin fosil, lensa tipis batulempung pasir; sedangkan untuk Endapan Aluvium (Qa) sendiri terdiri atas material kerakal, kerikil, pasir, lempung dan setempat pecahan cangkang fosil.



Gambar 1. Desain akuisisi data magnetik Gunung Lumpur



Gambar 2. Desain akuisisi data magnetik Gunung



Gambar 3. Overlay peta geologi regional lembar Surabaya-Sapulu terhadap lokasi Gunung Lumpur Sedati, Sidoarjo.

Tabel 1. Aspek sains dalam asesmen sumberdaya warisan geologi Gunung Lumpur Kalanganyar, Sedati.

No.	Indikator	Skor	Bobot	Skor Indikator
1	Lokasi yang mewakili kerangka geologi	3	30	22,5
2	Lokasi kunci penelitian	3	20	15
3	Pemahaman keilmuan	4	5	5
4	Kondisi lokasi/situs geologi	2	15	7,5
5	Keragaman geologi	3	5	3,75
6	Keberadaan situs warisan geologi dalam satu wilayah	3	15	11,25
7	Hambatan penggunaan lokasi	3	10	7,5
Total		21	100	72,5

Tabel 2. Aspek edukasi dalam asesmen sumberdaya warisan geologi Gunung Lumpur Kalanganyar, Sedati.

No.	Indikator	Skor	Bobot	Skor Indikator
1	Kerentanan	3	10	7,5
2	Pencapaian lokasi	3	10	7,5
3	Hambatan pemanfaatan lokasi	3	5	3,75
4	Fasilitas keamanan	2	10	5
5	Sarana pendukung	4	5	5
6	Kepadatan penduduk	4	5	5
7	Hubungan dengan nilai lainnya	4	5	5
8	Status lokasi	2	5	2,5
9	Kekhasan	3	5	3,75
10	Kondisi pada pengamatan unsur/fitur geologi	3	10	7,5
11	Potensi informasi pendidikan/penelitian	3	20	15
12	Keragaman geologi	4	10	10
	Total	38	100	77,5

Tabel 3. Aspek pariwisata dalam asesmen sumberdaya warisan geologi Gunung Lumpur Kalanganyar, Sedati.

No.	Indikator	Skor	Bobot	Skor Indikator
1	Kerentanan	3	10	7,5
2	Pencapaian lokasi	3	10	7,5
3	Hambatan pemanfaatan lokasi	3	5	3,75
4	Fasilitas keamanan	2	10	5
5	Sarana pendukung	4	5	5
6	Kepadatan penduduk	4	5	5
7	Hubungan dengan nilai lainnya	4	5	5
8	Status lokasi	2	15	7,5
9	Kekhasan	3	10	7,5
10	Kondisi pada pengamatan unsur/fitur geologi	3	5	3,75
11	Potensi interpretatif	3	10	7,5
12	Tingkat ekonomi	3	5	3,75
13	Dekat dengan area rekreasi	4	5	5
	Total	41	100	73,75

Tabel 4. Aspek risiko degradasi dalam asesmen sumberdaya warisan geologi Gunung Lumpur Sedati, Sidoarjo.

No.	Indikator	Skor	Bobot	Skor Indikator
1	Kerusakan terhadap unsur geologi	3	35	26,25
2	Berdekatan dengan daerah/aktivitas yang berpotensi menyebabkan degradasi	3	20	15
3	Perlindungan hukum	3	20	15
4	Aksesibilitas	3	15	11,25
5	Kepadatan penduduk	4	10	10
Total		16	100	77,5

Tabel 5. Akumulasi nilai aspek dalam asesmen sumberdaya warisan geologi Gunung Lumpur Kalanganyar, Sedati.

No	Aspek	Skor Aspek
1	Sains	72,5
2	Edukasi	77,5
3	Pariwisata	73,75
4	Risiko Degradasi	77,5
Total		301,25

HASIL DAN PEMBAHASAN

Akuisisi data magnetik yang telah dilakukan di kawasan Gunung Lumpur Kalanganyar, Sedati, dilaksanakan selama 2 hari. Hari pertama pengukuran terukur sebanyak 37 data pada 4 lintasan paling utara, sedangkan sisanya sebanyak 21 data pada 3 lintasan paling selatan terukur pada hari kedua. Setiap data magnetik yang terukur kembali dikoreksi dengan data nilai International Geomagnetic Reference Field (IGRF) yang merupakan referensi nilai geomagnetik global untuk mendapatkan nilai anomali magnetik yang bersifat lebih lokal sesuai lokasi penelitian ini. Peta persebaran nilai anomali magnetik total ditampilkan pada Gambar 4, dimana terdapat rentang nilai anomali magnetik total antara -1359 nT hingga 953 nT. Untuk nilai anomali magnetik total yang relatif rendah di bagian barat dan selatan kawasan Gunung Lumpur Kalanganyar, Sedati. Bagian pusat semburan sendiri memiliki nilai anomali magnetik total yang relatif tinggi, namun terdapat anomali magnetik total tertinggi pada sekitar titik M-111 di bagian selatan serta di sekitar titik M-99 dan M-107 di bagian barat daya kawasan mud volcano ini. Untuk mendukung asesmen sumberdaya warisan geologi yang dimiliki Gunung Lumpur Kalanganyar, Sedati, maka dilakukan pengukuran metode geofisika berupa metode magnetik untuk mengetahui persebaran medan magnet lokal dan regional pada kawasan mud volcano ini. Terdapat 58 titik pengukuran ditambah dengan 1 titik base magnetik yang mengelilingi kawasan mud volcano ini.

Nilai anomali magnetik total masih memiliki pengaruh nilai anomali magnetik regional dalam akumulasi nilai anomali magnetiknya. Untuk menghilangkan efek anomali magnetik regional demi mendapatkan nilai anomali magnetik residual (lokal), dapat diterapkan metode upward continuation yang merupakan penerapan suatu filter terhadap spektrum frekuensi nilai magnetik yang dimiliki oleh suatu data anomali magnetik total. Untuk mendapatkan nilai anomali magnetik regional, maka akan dilakukan lowpass filter untuk meloloskan rentang frekuensi data anomali magnetik total yang bernilai rendah dan

menghilangkan pengaruh rentang frekuensi dengan nilai tinggi, sehingga akan didapatkan nilai anomali magnetik dengan penetrasi lebih dalam dan dihasilkan persebaran nilai anomali magnetik secara regional. Sebaliknya, untuk mendapatkan nilai anomali magnetik residual yang bersifat lebih lokal, maka dilakukan highpass filter untuk meloloskan rentang frekuensi data anomali magnetik total yang bernilai tinggi dan menghilangkan pengaruh rentang frekuensi dengan nilai rendah, sehingga akan didapatkan nilai anomali magnetik dengan penetrasi lebih dangkal dan dihasilkan persebaran nilai anomali magnetik secara residual (lokal). Penentuan frekuensi pada upward continuation ini sendiri dilakukan secara relatif dengan melakukan penaikan layer data anomali magnetik total secara bertahap, dimana pada penelitian ini dilakukan upward continuation secara bertahap pada rentang upward 100-1000 meter dengan interval 100 meter, untuk mengetahui perubahan anomali regional dan residual di setiap layer seperti yang ditampilkan pada Gambar 5 dibawah. Berdasarkan penerapan metode upward continuation pada penelitian ini, didapati persebaran nilai anomali magnetik regional dan residual yang relatif tidak berubah dimulai pada upward 400 meter hingga 100 meter, sehingga data anomali magnetik regional dan residual yang digunakan pada penelitian ini menggunakan hasil dari upward continuation 400 meter tersebut.

Berdasarkan hasil upward continuation sebesar 400 meter pada pemisahan anomali regional dan residual, didapati pola persebaran anomali magnetik regional dan residual yang masing-masing ditampilkan pada Gambar 6 dan Gambar 7. Dari peta persebaran nilai anomali magnetik regional didapati adanya pola gradasi nilai anomali berkisar 52 nT - 92 nT, dengan nilai anomali rendah berada pada barat daya daerah penelitian dan naik secara gradasi menuju timur laut daerah penelitian. Untuk persebaran nilai anomali residual sendiri berada pada rentang nilai -1411 nT – 887 nT dengan persebaran nilai yang relatif mirip dengan peta anomali magnetik total pada Gambar 4 sebelumnya, dimana terdapat persebaran nilai anomali magnetik residual rendah pada bagian barat dan selatan,

serta terdapat nilai anomali magnetik residual yang relatif tinggi pada kawasan mud volcano. Jika melihat dari adanya pola anomali magnetik residual yang rendah diapit oleh anomali tinggi, terdapat 2 potensi interpretasi yang mungkin terjadi di bagian barat daerah penelitian, yaitu kemungkinan adanya cekungan (basin) atau indikasi patahan. Jika ditinjau lebih jauh dari daerah yang relatif sempit dan korelasi dengan hasil studi literatur sebelumnya, maka kemungkinan paling mendekati adalah terdapat indikasi patahan Watukosek yang memiliki kemenerusan dari beberapa fenomena semburan lumpur seperti Lumpur Sidoarjo (LUSI), Kalanganyar (Sedati) yang merupakan daerah penelitian ini, Gunung Anyar (Surabaya), dan Bujel Tasek (Bangkalan), yang memiliki orientasi patahan barat daya-timur laut. Adapula pola penurunan nilai anomali magnetik residual berorientasi barat laut-tenggara pada bagian utara daerah penelitian yang mana diduga merupakan batas formasi antara Formasi Lidah (Tpl) dibagian utara dan Endapan Aluvium (Qa) dibagian selatan. Adanya gradasi nilai anomali magnetik residual dari bagian tengah daerah penelitian kearah selatan menjadi indikasi bahwa kemungkinan adanya peristiwa terangkatnya muka tanah pada bagian tengah penampang dimana lokasi semburan lumpur berada, serta menurunnya muka tanah dibagian sekitar mud volcano.

Elemen penting dalam asesmen sumberdaya warisan geologi telah tercantum dalam petunjuk teknis asesmen warisan geologi yang diterbitkan oleh Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral pada tahun 2017, terdapat 4 nilai pokok dalam teknis asesmen sumberdaya warisan geologi pada suatu situs geologi. Nilai-nilai pokok tersebut berupa nilai sains, edukasi, pariwisata, dan risiko degradasi. Nilai sains dalam asesmen ini mempertimbangkan pengaruh serta dampak pada kegiatan yang terkait penelitian dan ilmu pengetahuan yang terkait dengan situs tersebut sebagai warisan geologi. Nilai edukasi mempertimbangkan pengaruh serta potensi terhadap pendidikan dari tingkatan pengajaran pendidikan formal hingga pemahaman masyarakat umum dalam menyikapi situs tersebut sebagai

warisan geologi. Nilai pariwisata mempertimbangkan potensi pariwisata yang dapat dibangun dengan meninjau sarana dan pra-sarana yang ada pada suatu situs warisan geologi. Untuk nilai risiko degradasi diberikan sebagai pertimbangan potensi risiko yang telah atau memiliki indikasi akan adanya kerusakan akibat faktor alam maupun manusia terhadap situs warisan geologi.

Dari 4 nilai pokok tersebut memiliki terdapat beberapa kriteria asesmen yang mirip namun memiliki pendekatan yang berbeda tergantung pada nilai apa yang sedang diasesmen. Setiap kriteria pada setiap nilai memiliki bobot yang berbeda, dimana bobot ini didasarkan pada dampak yang diberikan pada penentuan klasifikasi jenis warisan geologi. Akumulasi dari 4 nilai asesmen warisan geologi akan menentukan apakah suatu calon warisan geologi layak dikategorikan layak sebagai warisan geologi atau memerlukan catatan dan evaluasi sebelum dapat digolongkan menjadi warisan geologi. Klasifikasi dari hasil akumulasi asesmen warisan geologi ini dipetakan menjadi kategori penilaian rendah jika akumulasi nilai kurang dari 200, penilaian sedang jika akumulasi nilai 200-300, dan penilaian baik jika akumulasi nilai 300-400.

Asesmen aspek sains pada Gunung Lumpur Kalanganyar, Sedati, sebagai suatu situs warisan geologi dilakukan dengan memberikan penilaian pada 7 indikator penyusun aspek ini. Mud volcano ini merupakan salah satu contoh yang bagus untuk menggambarkan fitur yang terkait dengan proses kerangka geologi yang sedang diteliti, dengan adanya semburan lumpur yang terjadi secara alami, dimana mud volcano ini masuk dalam lokasi penting serta memiliki peran dalam bahasan utama maupun bahasan tambahan pada beberapa publikasi nasional dan internasional, terutama terkait dengan North East Java Basin (NEJB) dan Lumpur Sidoarjo (LUSI). Kondisi Gunung Lumpur Sedati sebagai fitur utama geologi masih tetap utuh, namun diperkirakan akan semakin menyempit akibat alih fungsi lahan menjadi pemukiman dan pemakaman yang cenderung akan semakin mendekati lokasi fitur utama geologi. Jika ditinjau berdasarkan studi literatur dan aplikasi Metode Magnetik pada

pembahasan sebelumnya, maka diketahui bahwa mud volcano ini memiliki 4 fitur geologi berupa perbedaan lapisan batuan sedimen berumur tersier yang ditumpangai lapisan aluvium berumur kuartar, indikasi kemenerusan antiklin dengan pola batar-timur pada lapisan batuan berumur tersier, indikasi patahan Watukosek yang berorientasi barat daya-timur laut, serta adanya semburan lumpur yang bersifat alami dengan asosiasinya terhadap patahan tersebut. Dalam kawasan yang relatif berdekatan dengan Gunung Lumpur Kalanganyar, Sedati, yaitu kawasan Surabaya-Sidoarjo, masih terdapat 2 situs lain yang serupa yaitu Gunung Lumpur Gunung Anyar di Kecamatan Gunung Anyar, Kota Surabaya, serta Lumpur Sidoarjo di tiga wilayah kecamatan, yaitu Kecamatan Porong, Kecamatan Tanggulangin, dan Kecamatan Jabon yang semuanya masuk dalam wilayah administratif Kabupaten Sidoarjo. Kawasan mud volcano ini sendiri dikelilingi oleh pemukiman, pemakaman, tambak, serta objek Candi Tawangalun, sehingga beberapa perizinan dan koordinasi diperlukan dengan pemerintah setempat serta juru rawat candi untuk melakukan kegiatan sains pada situs geologi ini. Tabel 1 memberikan informasi terkait penilaian di tiap indikator pada aspek sains ini terhadap Gunung Lumpur Kalanganyar, Sedati.

Pada aspek edukasi dan aspek pariwisata terdapat 10 indikator yang memiliki kemiripan satu sama lain, dimana hal ini terjadi karena anggapan pelajar yang mengunjungi suatu situs warisan geologi dalam aspek edukasi dianggap sebagai subjek yang sama dengan wisatawan yang mengunjungi situs warisan geologi dalam aspek pariwisata. Indikator yang sama tersebut meliputi kerentanan, pencapaian lokasi, hambatan pemanfaatan lokasi, fasilitas keamanan sarana pendukung kepadatan penduduk, hubungan dengan nilai lainnya, status lokasi, kekhasan, serta kondisi pada pengamatan unsur/fitur geologi. Jika melihat dari 10 indikator tersebut, maka Gunung Lumpur Kalanganyar, Sedati, memiliki potensi kerusakan pada struktur sekunder berupa bentuk bukit pada Gunung Lumpur Sedati akibat dari potensi pengambilan sampel lumpur yang berlebihan,

namun tidak akan merusak fitur utama berupa semburan lumpur, dimana karena berada dekat dengan pemukiman penduduk, maka akses jalan berupa paving dan dapat diakses oleh kendaraan roda 2 dan roda 4, sedangkan untuk akses bus harus diparkir di area sekitar jalan utama yang berjarak sekitar 400 meter dari fitur utama geologi.

Pemanfaatan mud volcano ini untuk aktivitas eksekursi direkomendasikan untuk dikunjungi saat musim kemarau, karena ketika memasuki musim hujan, akses menuju fitur geologi utama akan menjadi sangat licin dan sulit untuk dilalui meskipun berjalan kaki, serta penerangan yang kurang pada malam hari membuatnya tidak memungkinkan untuk dikunjungi pada malam hari, ditambah dengan tidak adanya fasilitas keamanan berupa tangga, pengangan maupun pagar, sehingga cukup rentan terjadinya hambatan dalam mengunjungi fitur utama geologi, namun kawasan ini masih dapat menerima jaringan telepon seluler dengan sangat baik serta berada kurang dari 50 kilometer dari instalasi gawat darurat setempat, sedangkan untuk sarana pendukung di kawasan situs geologi ini yang berupa restoran maupun penginapan untuk 50 orang atau lebih dapat ditemui dengan jarak kurang dari 15 kilometer, serta fasilitas kamar kecil di pos jaga Candi Tawangalun yang berada di sekitar fitur utama geologi. Berdasarkan Buku Sidoarjo Dalam Angka 2021 yang diterbitkan oleh Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Sidoarjo, kawasan Gunung Lumpur Kalanganyar, Sedati, memiliki kepadatan penduduk yang jika dilihat dari wilayah Kecamatan Sedati adalah sebesar 1216,62 penduduk per kilometer persegi yang mana lebih rendah dari kepadatan penduduk Kabupaten Sidoarjo yang mencapai 3195,31 penduduk per kilometer persegi. Terdapat situs Candi Tawangalun yang berada berdekatan dengan situs geologi, serta adanya kawasan pemukiman, pemakaman, dan tambak yang juga berdekatan dengan fitur utama geologi ini. Dengan statusnya sebagai salah satu fenomena semburan lumpur alami merupakan fitur yang unik dan jarang dijumpai di Indonesia, umumnya hanya dikunjungi pengunjung lokal yang sedang mengunjungi Candi Tawangalun yang merupakan

satu lokasi dengan fitur utama geologi. Fitur utama geologi berupa semburan lumpur maupun fitur sekunder berupa bukit-bukit lumpur pada mud volcano ini dapat diamati dengan baik, namun untuk fitur geologi berupa patahan, antiklin, maupun batas lapisan litologi hanya berupa indikasi dan belum adanya bukti singkapan yang nampak dengan jelas.

Selain adanya 10 indikator diatas, terdapat pula tambahan 2 indikator untuk aspek edukasi dan 3 indikator untuk aspek pariwisata. Untuk aspek edukasi juga mempertimbangkan fitur utama berupa semburan lumpur maupun fitur sekunder berupa bukit-bukit lumpur yang dapat teramati dengan jelas, telah menjadi hal yang umum untuk diajarkan pada tingkat pendidikan sekolah dasar, dimana akan terlihat dengan jelas perbedaan antara pasir yang berada di sekitar kawasan pemukiman, pemakaman, dan Candi Tawangalun, dengan material lempung dari lumpur yang dihasilkan oleh mud volcano ini, ditambah dengan adanya 4 fitur geologi berupa perbedaan lapisan batuan sedimen berumur tersier yang ditumpangi lapusan aluvium berumur kuartar, indikasi kemenerusan antiklin dengan pola batar-timur pada lapisan batuan berumur tersier, indikasi patahan Watukosek yang berorientasi barat daya-timur laut, serta adanya semburan lumpur yang bersifat alami yang diduga memiliki asosiasi dengan patahan tersebut. Untuk tambahan indikator aspek pariwisata meliputi pengamatan semburan lumpur yang menjadi fitur utama geologi di mud volcano ini dapat terinterpretasi dengan jelas karena semburan lumpur nampak di permukaan tanah secara alami, namun pengunjung juga perlu diberikan informasi dasar geologi terkait fenomena gunung lumpur untuk lebih memahami fenomena yang sedang diamati. Adapula informasi dari Buku Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) Kabupaten Sidoarjo Menurut Lapangan Usaha 2016-2020 yang diterbitkan oleh Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Sidoarjo, diketahui PDRB per kapita Kabupaten Sidoarjo pada tahun 2020 adalah sebesar 86,43 juta rupiah, dimana jumlah ini lebih tinggi dari PDRB per kapita nasional sebesar 55,92 juta rupiah pada tahun yang sama, dimana hal ini

menunjukkan perkembangan ekonomi saat ini telah baik, dan berpotensi menjadi lebih baik jika adanya pemanfaatan yang baik pada objek mud volcano ini, ditambah dengan lokasi Gunung Lumpur Kalanganyar, Sedati, berada pada satu kawasan dengan Candi Tawangalun yang menjadi lokasi wisata lokal. Asesmen berupa pemberian nilai pada setiap indikator aspek edukasi ditampilkan pada Tabel 2, sedangkan penilaian setiap indikator pada aspek pariwisata ditampilkan pada Tabel 3.

Aspek risiko degradasi terhadap suatu situs warisan geologi memiliki pengaruh yang cukup signifikan, kerana dari asesmen risiko degradasi inilah dapat diketahui seberapa besar potensi terjadinya kerusakan pada fitur warisan geologi. Kondisi Gunung Lumpur Kalanganyar, Sedati, sebagai fitur utama geologi saat ini masih tetap utuh, namun diperkirakan akan semakin menyempit akibat alih fungsi lahan menjadi pemukiman dan pemakaman yang cenderung akan semakin mendekati lokasi fitur utama geologi. Hal ini ditambah dengan tidak adanya perlindungan hukum terhadap situs geologi ini, namun terdapat akses kontrol oleh pemerintah dan masyarakat setempat serta adanya perhatian dari juru rawat Candi Tawangalun terhadap fitur utama geologi membuatnya sedikit banyak terdapat akses kontrol sebelum mengakses lebih dekat fitur utama geologi. Seperti yang telah di jelaskan pada aspek-aspek sebelumnya lokasi mud volcano yang berada dekat dengan pemukiman penduduk dengan akses jalan berupa paving dan dapat diakses oleh kendaraan roda 2 dan roda 4, sedangkan untuk akses bus harus diparkir di area sekitar jalan utama yang berjarak sekitar 400 meter dari fitur utama geologi, membuat potensi kerusakan akibat pengunjung maupun pelajar yang seddang ekskursi menjadi lebih rentan, dimana hal ini diperburuk dengan kepadatan penduduk yang relatif tinggi dengan jumlah kepadatan penduduk yang jika dilihat dari wilayah Kecamatan Sedati adalah sebesar 1216,62 penduduk per kilometer persegi dari kepadatan penduduk Kabupaten Sidoarjo sebesar 3195,31 penduduk per kilometer persegi. Dari informasi tersebut, maka penilaian terhadap aspek risiko

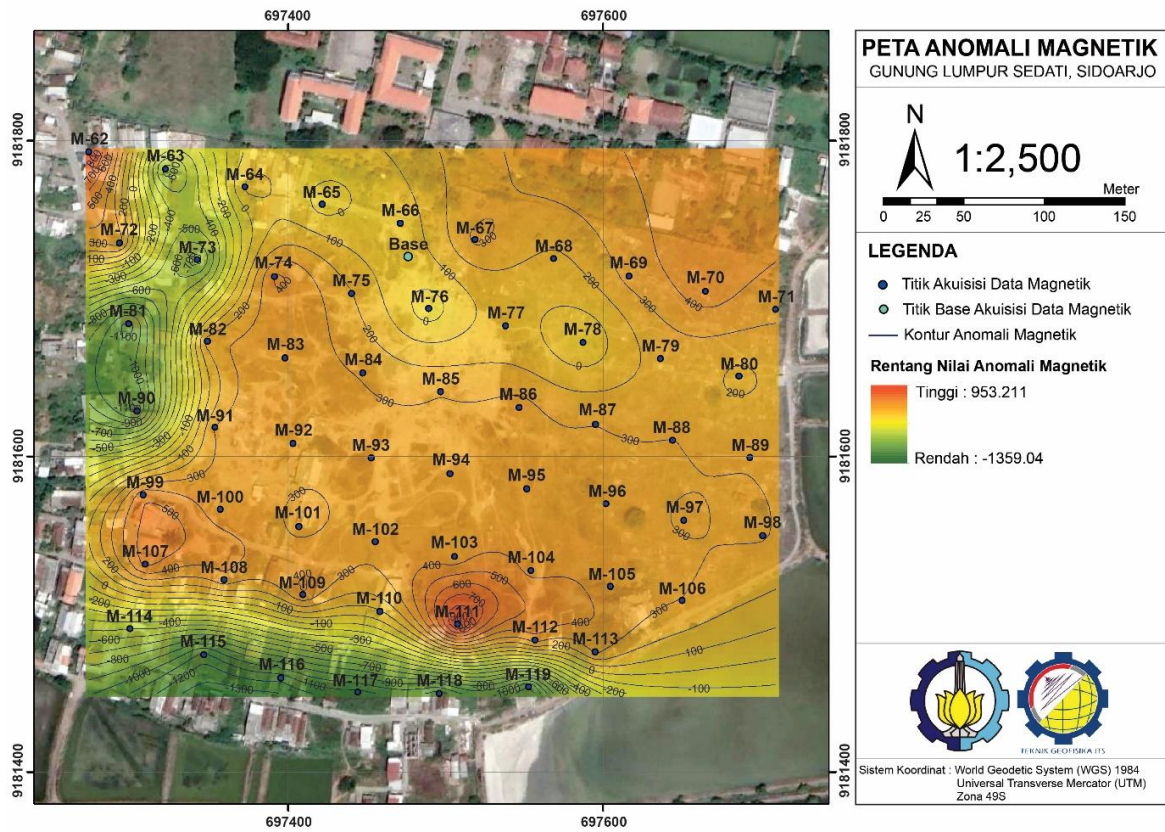
degradasi dapat dilakukan dan ditampilkan pada Tabel 4.

Untuk menentukan tingkat kategori yang diberikan pada suatu situs warisan geologi, maka dilakukan akumulasi dari nilai semua aspek yang telah dilakukan sebelumnya. Gunung Lumpur Kalanganyar, Sedati, memiliki nilai aspek sains sebesar 72,5; nilai aspek edukasi sebesar 77,5; nilai aspek pariwisata sebesar 73,75; serta nilai aspek risiko degradasi sebesar 77,5. Nilai setiap aspek tersebut diakumulasikan seperti yang terlihat pada Tabel 6, bahwa didapatkan nilai asesmen total sebesar 301,25 yang mana menunjukkan bahwa Gunung Lumpur Kalanganyar, Sedati, termasuk dalam kategori baik sebagai suatu sumberdaya warisan geologi.

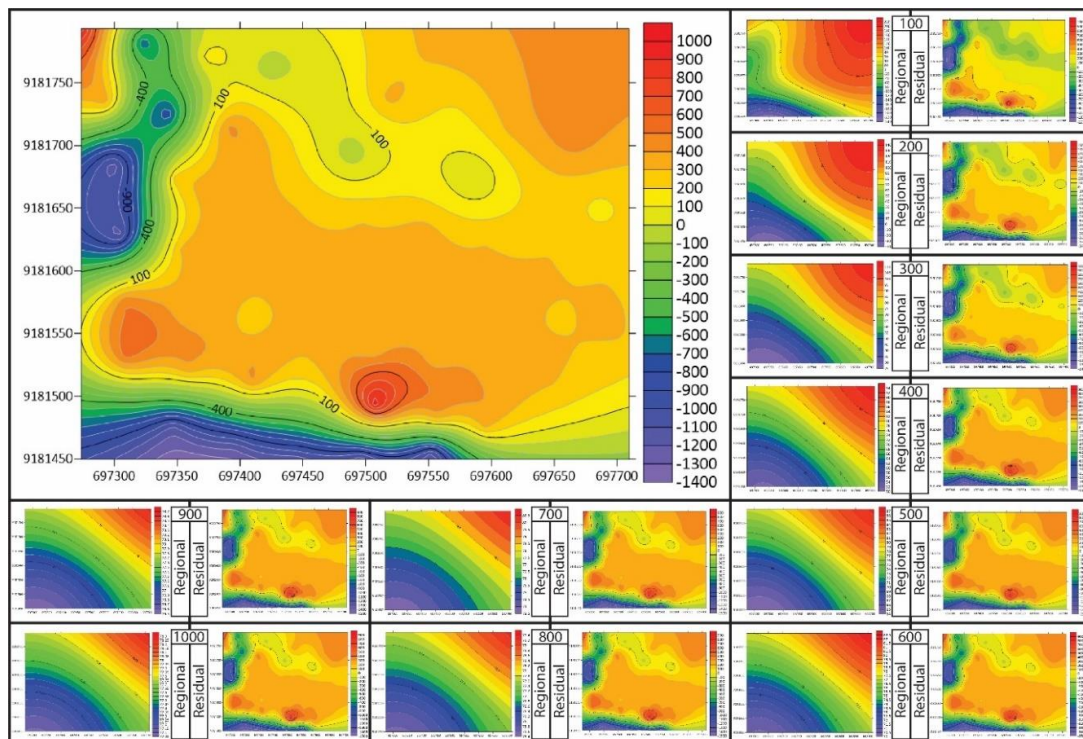
PENUTUP

Simpulan

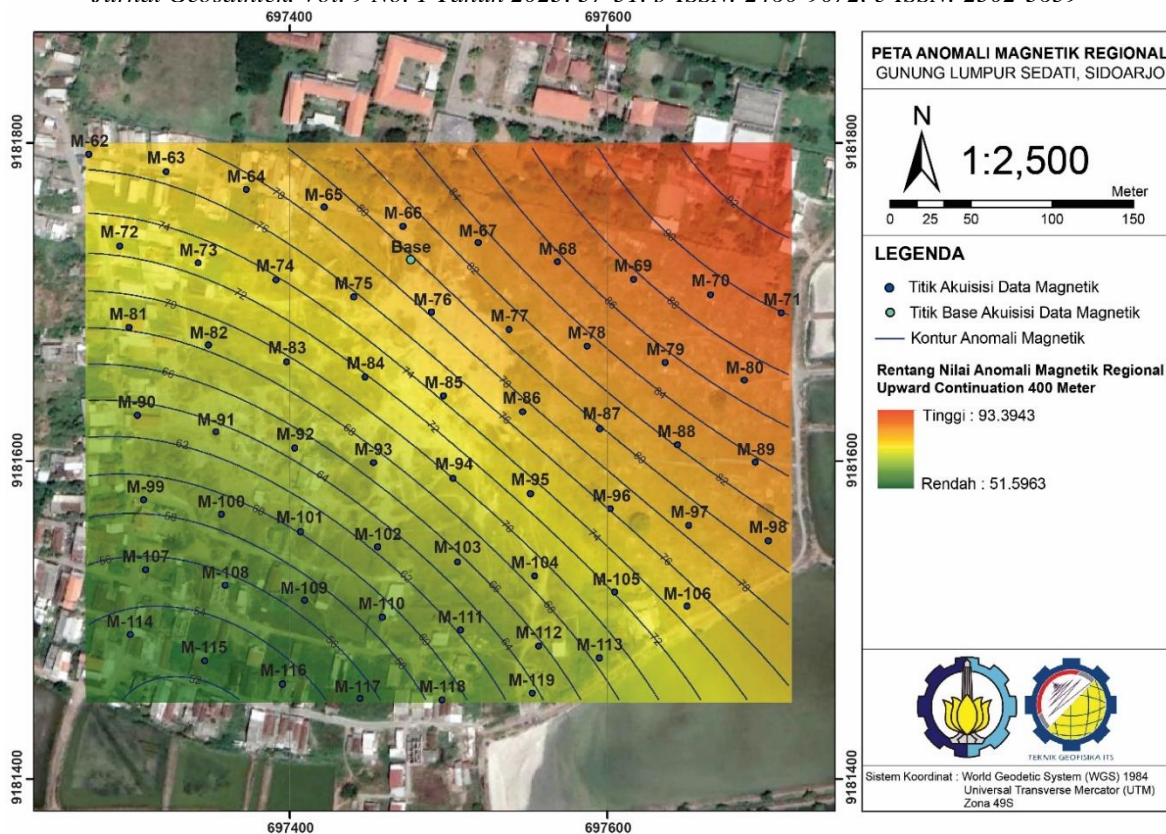
Dari integrasi informasi yang didapatkan antara studi literatur dari penelitian terdahulu, aplikasi Metode Magnetik, serta asesmen langsung di lapangan akan didapatkan suatu proses asesmen dengan tingkat objektivitas yang memadai untuk dijadikan acuan dalam pemanfaatan kawasan gunung lumpur ini serta perencanaan pelestarian kedepannya. Hasil nilai asesmen menunjukkan bahwa Gunung Lumpur Kalanganyar, Sedati, termasuk dalam kategori baik sebagai suatu sumberdaya warisan geologi. Masyarakat lokal diharapkan mempunyai pemahaman dan bersama-sama pemerintah membantu dalam membangun, menjaga dan pengembangan kawasan semburan lumpur di kawasan ini, terutama Gunung Lumpur Kalanganyar, Sedati, sebagai kawasan wisata warisan geologi di kawasan Surabaya-Sidoarjo.



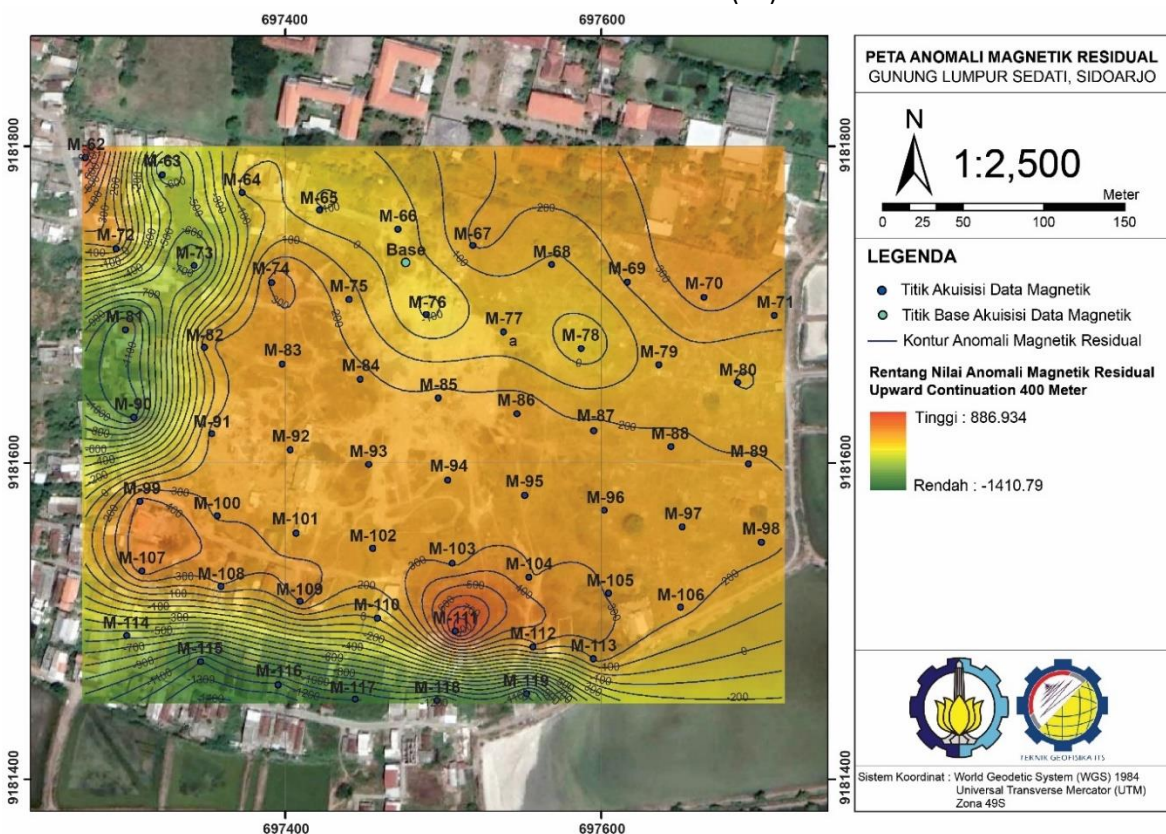
Gambar 4. Peta persebaran nilai anomali magnetik total Gunung Lumpur Sedati, Sidoarjo, dalam satuan nano Tesla (nT).



Gambar 5. Pemisahan anomali regional dan residual Gunung Lumpur Kalanganyar, Sedati, Sidoarjo, menggunakan upward continuation dengan nilai upward dalam satuan meter.



Gambar 6. Peta persebaran nilai anomali magnetik regional Gunung Lumpur Sedati, Sidoarjo, dalam satuan nano Tesla (nT).



Gambar 7. Peta persebaran nilai anomali magnetik residual Gunung Lumpur Sedati, Sidoarjo, dalam satuan nano Tesla (nT).

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai melalui Hibah Penelitian Dana Departemen DRPM ITS.

DAFTAR PUSTAKA

- Arwananda, A.P., Aryaseta, B., Dezulfakar, H., Fatahillah, Y., Rochman, J.P.G.N., 2017. Horizontal-vertical Spectral Ratio Method in Microtremor to Estimate Engineering Bedrock Thickness at Sedati Mud Volcano. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 62, 012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/62/1/012010>
- Burhannudinnur, M., Noeradi, D., Sapiie, B., & Abdassah, D. (2012). Karakter Mud Volcano di Jawa Timur. In Proceedings the 41st IAGI Annual Convention and Exhibition (pp. 300-304).
- Firdaus, M. F. (2018). Identifikasi Persebaran Lumpur dengan Metode Tahanan Jenis 2 Dimensi Konfigurasi Wenner-Schlumberger di Gunung Lumpur Sedati, Kabupaten Sidoarjo. Undergraduate Theses, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hurun, N. (2016). Analisis Data Geolistrik Resistivitas Untuk Pemodelan Struktur Geologi Bawah Permukaan Gunung Lumpur Bangkalan. Undergraduate Theses, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Istadi, B. P., Wibowo, H. T., Sunardi, E., Hadi, S., Sawolo, N., & Dar, I. A. (2012). Mud volcano and its evolution. Earth sciences: InTech, 375-434.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (1992). Peta Geologi Lembar Surabaya & Sapulu, Jawa.
- Pusat Survei Geologi (2017). Petunjuk Teknis Asesmen Sumberdaya Warisan Geologi. Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Republik Indonesia
- Satyana, A. H. (2007, November). Bencana Geologi dalam "Sandhyâkâla" Jenggala dan Majapahit: Hipotesis Erupsi Gununglumpur Historis Berdasarkan Kitab Pararaton, Serat Kanda, Babad Tanah Jawi; Folklor Timun Mas; Analogi Erupsi LUSI; dan Analisis Geologi Depresi Kendeng-Delta Brantas. In Proceedings Joint Convention Bali (pp. 1755-1315).
- Sholikha, K. A., & Santosa, B. J. (2016). Identifikasi Pola Persebaran Sumber Lumpur Bawah Tanah Pada Mud Volcano Gunung Anyar Rungkut Surabaya Menggunakan Metode Geolistrik. Jurnal Sains dan Seni ITS, 5(1), B6-B10.
- Syahputri, B. E. A., Anjasmara, I. M., & Widodo, A. (2021, April). Surface Deformation Detection due to Mud Volcanoes Manifestation in East Java Basin Area using Permanent Scatterer InSAR. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 731, No. 1, p. 012008). IOP Publishing.
- Syaifuddin, F., Bahri, A. S., Lestari, W., & Pandu, J. (2016, May). Microtremor study of Gunung Anyar mud volcano, Surabaya, East Java. In AIP Conference Proceedings (Vol. 1730, No. 1, p. 050004). AIP Publishing LLC.
- Wardana, Y. W. S. W. (2016). Identifikasi Bawah Permukaan Tanggul Lumpur Sidoarjo (LUSI) Menggunakan Metode Multichannel Analysis Of Surface Waves (MASW) (Undergraduate Theses, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Widodo, A., Rochman, J.P.G.N., Perdana, A., Syaifuddin, F., 2020. Seismic Site Effect Mapping Based on Natural Frequency Using Microtremor Method in Sidoarjo District. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 506, 012053. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/506/1/012053>.
- Widodo, A., Warnana, DD., Syaifuddin, F., Rochman, J.P.G.N., Lestari, W., 2020. Geological Structures Investigation at The Surrounding of LUSI Mud Volcano Using Integrated Geophysical Methods. Overpressured Sedimentary Basin: Petroleum Geology & Hazards jilid 1. Ikatan Ahli Geologi Indonesia (IAGI)