

Overview Metode Perhitungan Kerentanan Airtanah Terhadap Rencana Penambangan

Shenny Linggasari¹, Tedy Agung Cahyadi², Rika Ernawati³

1) Mahasiswa Prodi Magister Teknik Pertambangan UPN

2) Staf Pengajar Prodi Magister Teknik Pertambangan UPN

3) Staf Pengajar Prodi Magister Teknik Pertambangan UPN

Korespondensi : shennylinggasari@gmail.com

ABSTRAK

Adanya kegiatan pertambangan akan berdampak pada perubahan bentuk muka bumi dan tata guna lahan. Perubahan tata guna lahan ini mempengaruhi timbulnya potensi resapan air yang akan berdampak pada ketersediaan air tanah baik secara kuantitas maupun kualitas. Penurunan potensi air tanah khususnya pada area penambangan sangat mungkin terjadi karena elevasi lantai bukaan tambang akan berada di bawah permukaan tanah terutama permukaan air tanah dalam. Penurunan potensi air tanah ini akan berpengaruh terhadap penurunan muka air tanah, debit air tanah, dan penurunan permukaan tanah yang dapat menimbulkan pencemaran. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis kerentanan airtanah. Metode analisis kerentanan airtanah telah berkembang cukup banyak, untuk mengetahui metode kerentanan airtanah yang sesuai terhadap rencana kegiatan pertambangan, penulis melakukan komparasi beberapa metode dengan melihat kelebihan dan kekurangannya berdasarkan studi literatur. Metode analisis kerentanan airtanah terhadap rencana penambangan bertujuan untuk mengetahui adanya potensi pencemaran dan sebagai acuan dalam pembuatan sarana dan prasarana area pertambangan. Metode SINTACS dan DRASTIC merupakan metode yang paling cocok untuk penentuan kerentanan airtanah terhadap rencana penambangan.

Kata kunci: kerentanan, airtanah, metode, tambang, drastic, sintacs.

ABSTRACT

Mining activities have many impacts, one of them is changes of land use. The effect of land use affects the potential for water absorption which will have an impact on the availability of groundwater both in quantity and quality. The reduction in groundwater potential in the mining area is very possible because the elevation of the mine openings will be below the surface of the ground, especially the surface of the groundwater. This reduction in groundwater potential will affect the decrease in groundwater level, groundwater discharge, and decrease in land surface which can cause pollution. Therefore, it is necessary to analyze the vulnerability of groundwater to become a reference in groundwater management. The method of analyzing groundwater vulnerability has grown quite a lot in recent years. To find out the groundwater vulnerability method that is suitable for the mining plan, the authors compare several methods by looking at their strengths and weaknesses based on literature studies. The method of analyzing groundwater vulnerability to the mining plan aims to determine the potential for pollution and as a reference in making mining facilities and infrastructure. The SI and DRASTIC method is the most suitable method for determining vulnerability of groundwater groundwater for a mining plan.

Keywords: *vulnerability, groundwater, methods, mining, drastic.*

1. PENDAHULUAN

Penambangan batubara merupakan kegiatan yang dapat menyebabkan perubahan tata guna lahan, morfologi, geologi, dan hidrogeologi. Perubahan ini berdampak pada perubahan topografi, perlapisan batuan bawah permukaan, dan akuifer [5]. Perubahan tata guna lahan ini akan mempengaruhi potensi resapan air yang akan berdampak pada ketersediaan air tanah baik secara kuantitas maupun kualitas. Penurunan potensi air tanah pada area penambangan sangat mungkin terjadi karena elevasi lantai bukaan tambang sudah jauh berada di bawah permukaan tanah terutama permukaan air tanah dalam. Penurunan potensi air tanah berpengaruh terhadap penurunan muka air tanah (*groundwater level*), debit air tanah, penurunan permukaan tanah (*surface/land subsidence*), dan kualitas air tanah [18]

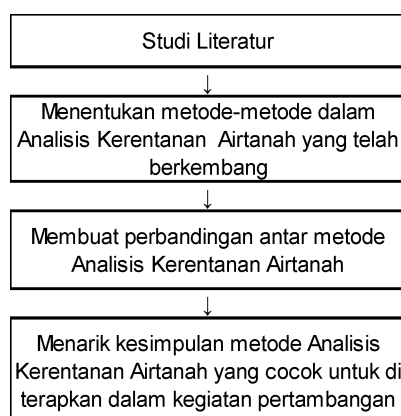
Menurut Keputusan Menteri No.1451 K/10/MEM/2000 tentang pedoman teknis penyelenggaraan tugas pemerintah di bidang pengelolaan air bawah tanah maka airtanah wajib untuk dikelola dan dilindungi

dari pendayagunaan dan pencemaran. Adanya kegiatan Pertambangan dapat berdampak mengganggu tata air dan lingkungan disekitarnya. Kerentanan air tanah adalah besaran ukuran air tanah yang dapat bertahan terhadap polusi atau kontaminan pada permukaan tanah hingga mencapai muka air tanah atau lapisan akuifer. Beberapa metode telah banyak berkembang dalam menganalisis kerentanan airtanah. [14]

Metode yang banyak digunakan untuk menganalisis kerentanan air tanah adalah metode sistem parametrik. Metode ini menggabungkan tiga sistem penilaian yaitu sistem rating, sistem point, dan sistem matrik. Pada sistem point, untuk melihat kerentanan menggunakan sistem rating dan bobot terhadap parameter yang dinilai berdasarkan tingkat kepentingannya. Nilai kerentanan merupakan nilai total dari penjumlahan tiap parameter dari hasil perkalian bobot dan rating yang ada pada suatu daerah. Metode parametrik yang sering digunakan dalam analisis kerentanan air tanah skala internasional diantaranya DRASTIC, GOD, COP, AVI, SINTACS, EPIK, PRAST, SI, SVV, EPPNA, PI, SEEPAGE, PRAST dan lainnya. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui metode kerentanan airtanah yang cocok dalam kegiatan pertambangan.

2. METODE PENELITIAN

Tahapan dalam penelitian yang dilakukan oleh penulis dirangkum seperti bagan alir **Gambar 1**. Penelitian ini berdasarkan studi literatur baik dalam jurnal nasional, maupun internasional. Penelitian ini diharapkan dapat menentukan metode yang sesuai dalam analisis kerentanan airtanah terhadap rencana kegiatan penambangan.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian.

3. HASIL DAN ANALISIS

Metode parametrik yang sering digunakan dalam analisis kerentanan air tanah skala internasional diantaranya dijabarkan pada sub bab dibawah ini.

3.1. Metode DRASTIC

Metode yang dikembangkan oleh Aller, et. Al., 1985 ini telah sangat banyak diterapkan oleh beberapa peneliti baik untuk kerentanan airtanah terhadap pencemaran maupun kegiatan pertambangan. Metode ini menggunakan 7 parameter, diantaranya adalah kedalaman muka air tanah, curah hujan, topografi (lereng), litologi, media akuifer, media tanah, material zona tak jenuh, dan konduktivitas hidrolis. [2]

3.2. Metode GOD

Metode GOD merupakan metode hasil pengembangan dari metode drastic yang diprakarsai oleh Foster, et. Al., 1987. metode ini biasa digunakan untuk mempelajari kerentanan akifer terhadap perkolasi vertikal polutan melalui zona tak jenuh (diatas air tanah). Makin dalam muka air tanah, kerentanan airtanah makin rendah. Metode ini menggunakan 3 parameter, diantaranya adalah *Groundwater occurrence*, *Overall aquifer class*, dan *Depth table of the groundwater*. [8]

3.3. Metode AVI

Metode AVI diusulkan oleh Van Stempvoort et al., 1992, yang melibatkan pengukuran kerentanan airtanah melalui resistensi hidrolik terhadap aliran vertikal melalui lapisan yang paling atas. Parameter dalam penentuan kerentanan airtanah dalam metode ini meliputi ketebalan setiap lapisan sedimen di atas akuifer jenuh yang paling atas (d), dan perkiraan konduktivitas hidrolik lapisan pelindung (k). [6]

3.4. Metode APLIS

Metode APLIS adalah metode yang digunakan untuk mengukur imbuhan airtanah di daerah cekungan karst (Andreo, 2008). Metode ini menggunakan variabel – variable yang memiliki kesamaan dengan metode pengukuran tingkat kerentanan yang digunakan pada media porus. Metode ini memiliki lima parameter yaitu karakteristik hidrogeologi dan geomorfologi suatu wilayah. APLIS adalah singkatan dari lima parameter yang digunakan dalam bahasa Spanyol, yaitu *altitude* (ketinggian), *pendiente* (kemiringan lereng), *lithology* (litologi), *infiltracion preferencial* (zona infiltrasi), dan *suelo* (tanah). [22]

3.5. Metode PI

Metode PI adalah pendekatan gabungan berbasis GIS untuk memetakan kerentanan air tanah untuk semua jenis akuifer khususnya karst. Metode ini meliputi dua parameter yaitu protective cover (P factor) termasuk T,R,S,L,F (topsoil, subsoil recharge, lithology of bedrock, fracturing) dan *infiltration conditions* (I factor) [17]

3.6. Metode COP

Metode ini dikembangkan oleh Vias, et. al., 2006 . Metode COP ini diperuntukkan dalam analisis kerentanan airtanah yang berada di sistem akuifer karst karena karakteristik hidrogeologi pada kawasan karst sangatlah unik dimana lapisan tanah tipis, konsentrasi aliran pada epikarst, dan resapan air melalui ponor sehingga kontaminan secara mudah dan cepat mencapai airtanah (Pangestu,2018). Parameter dalam metode COP adalah C (concentration of flow), O (overlying layer) dan P (precipitation) [18]

3.7. Metode EPIK

Metode yang dikembangkan oleh Doerfliger et al. 1999 ini adalah metode analisis kerentanan airtanah dengan pembobotan dan *rangking* yang khusus dikembangkan untuk akuifer karst guna melindungi sumber pasokan air (mata air dan sumur) (Vias, 2005). Metode ini tidak mempertimbangkan parameter waktu (mis. curah hujan, imbuhan) tetapi menggunakan parameter intrinsik akuifer diantaranya adalah keberadaan epikarst (E), karakteristik *protective cover* (P), kondisi infiltrasi (I) dan karst pengembangan jaringan (K). [6]

3.8. Metode SVV

Metode SVV yang dikembangkan oleh Putra 2007 adalah metode analisis kerentanan airtanah yang digunakan hanya untuk kondisi air tanah dangkal (kurang dari 30 meter) pada batuan kuarter, terutama pada daerah yang kekurangan data pengukuran sifat tanah atau batuan. Tingkat kerentanannya dikukur berdasarkan atas keefektifan perlindungan (kemampuan lapisan batuan di atas akuifer untuk melindungi air tanah) dalam hal *advective transport time*. *Advective transport time* ditentukan berdasarkan resapan air yang mencapai permukaan air tanah melalui lapisan di bagian atas akuifer dengan infiltrasi difusi relatif tanpa memperhatikan konsentrasi aliran signifikan. Dengan kata lain, metode SVV ini diukur dengan tiga parameter, yaitu Ketebalan dari zona tidak jenuh air (T), Nilai *recharge* atau perkolasi (U), Tipe material zona tidak jenuh air (L). [12]

3.9. Metode SI

Metode ini dikembangkan oleh Ribeiro di Portugal tahun 2000. Iai Parameter dalam metode ini meliputi *water depth*, *effective recharge*, *middle aquifer*, dan *topographic slope of the land*. [6]

3.10. Metode PRAST

Metode ini dikembangkan oleh Civita 1994. Metode ini sudah pernah di lakukan untuk kerentanan airtanah pada area reklamasi perkotaan di Egypt, Mesir. Kriteria penentuan kerentanan air tanah dalam metode ini adalah *Protective effectiveness*, *Net Recharge*, *Aquifer media*, *Soil media and Topography*. [16]

3.11. Metode SEEPAGE

Metode yang dikembangkan oleh Navulur dan Engel BA 1994 dipergunakan sebagai evaluasi awal potensi pencemaran airtanah dengan mempertimbangkan pengaturan hidrogeologis dan sifat-sifat fisik tanah yang mempengaruhi kerentanan airtanah terhadap potensi polusi. Variabel penentuan kerentanan air tanah dalam metode ini adalah *Soil slope depth to water table, vadose zone materials, aquifer material, soil depth, attenuation potential* [6]

3.12. Metode SINTACS

Metode yang dikembangkan oleh Civita 2004 ini memiliki 7 variabel dalam menentukan kerentanan airtanah, diantaranya adalah, infiltrasi, kedalaman air tanah, Konduktivitas hidrolika, zona tak jenuh air, jenis akuifer, topografi, dan jenis tanah. [1]

Banyaknya metode penentuan kerentanan airtanah yang telah berkembang ini tidak dapat di samakan satu dengan lainnya, tidak setiap metode bisa sesuai diterapkan dalam studi kasus yang sama. Perbandingan setiap parameter dari masing-masing metode dapat dilihat pada tabel 1, dan perbandingan kelebihan dan kekurangan dari metode kerentanan airtanah dapat dilihat pada tabel

Tabel 1 Komparasi Parameter dari Metode Kerentanan Airtanah

| No. | Metode | By | Year | Parameter | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---------|----------------------|------|-----------|----------|---------|-------|------------|-------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------|---------------|--------------|---------------|--------------------------|-------------------|----------|-------------------|-----------------------|
| | | | | Depth | Recharge | Aquifer | Soils | Topography | Vadose Zone | Conductivity of Hydraulic | Overlaying protective cover | concentration of flow | Precipitation | Infiltration | GW Occurrence | materials of vadose zone | saturated aquifer | Epikarst | Karst network dev | Attenuation potencial |
| 1 | DRASTIC | Aller, et. Al., | 1985 | √ | √ | √ | √ | √ | √ | | | | | | | | | | | |
| 2 | COP | Vias, et. al. | 2006 | | | | | | | | √ | √ | √ | | | | | | | |
| 3 | GOD | Foster dkk | 1987 | √ | | √ | | | | | | | √ | | | | | | | |
| 4 | SWV | Putra | 2007 | | √ | | | √ | | | | | | √ | | | | | | |
| 5 | PI | Goldscheider et al. | 2000 | | | | | | | | √ | | √ | | | | | | | |
| 6 | AVI | Van Stempvoort et al | 1993 | | | | | | | √ | | | | | √ | | | | | |
| 7 | EPIK | Doerfliger et al. | 1999 | | | | | | | | √ | | √ | | | √ | √ | | | |
| 8 | SINTAC | Civita | 2004 | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | | | | | | | | | | |
| 9 | SI | Ribeiro | 2000 | √ | √ | √ | | √ | | | | | | | | | | | | √ |
| 10 | SEEPAGE | Navulur dan Engel BA | 1999 | √ | | √ | √ | √ | | | | | | | | | | | √ | |
| 11 | PRAST | Civita | 1994 | | √ | √ | √ | √ | | | √ | | | | | | | | | |
| 12 | APLIS | Andreo, et. Al., | 2008 | √ | | √ | √ | √ | | | | | √ | | | | | | | |

Tabel 2 Komparasi Kelebihan dan Kekurangan dari Metode Kerentanan Airtanah

| Referensi | Metode | Kelebihan | Kekurangan |
|----------------------|-------------------------------------|--|--|
| [1],[2], [11] & [15] | DRASTIC | -Diperuntukkan pada daerah yang luas, semakin luas area analisis maka akan semakin <i>detail</i> pemetaan kerentanannya. -Dapat digunakan dalam kegiatan Pertambangan. -Memiliki akurasi yang baik dan lebih efektif. | -DRASTIC mengidentifikasi kerentanan yang lebih rendah dan tidak terfokuskan pada risiko pencemaran -Membutuhkan banyak data agar hasil pemetaan lebih bagus, mengingat metode ini diperuntukkan untuk daerah yang luas (skala besar). |
| [6] | COP | Cocok digunakan untuk daerah karst dengan material yang terdiri atas batugamping | Tidak cocok di gunakan untuk pemetaan didaerah tambang batubara/bijih |
| [[19], [20], 23] | GOD | -Cocok digunakan untuk analisis kerentanan airtanah terhadap pencemaran -Bisa digunakan untuk pemetaan kerentanan dalam akuifer karbonat karstifikasi pada skala kecil-sedang | -Lebih menekankan kerentanan airtanah pada jenis akuifer bebas sehingga untuk digunakan dalam penelitian di lokasi pertambangan tidak memenuhi kondisi yang seharusnya karena pada lokasi pertambangan akuifer bebas ataupun akuifer tertekan akan sangat terganggu dengan adanya kegiatan penggalian -Tidak melihat faktor curah hujan, hanya jenis akuifer saja |
| [12] | SSV | Metode nya sederhana dengan menggunakan rumus numerik dan hubungan analogic | -Diperuntukkan di kondisi air tanah yang dangkal (< 30m) |
| [13] | PI | Cocok digunakan untuk daerah karst dengan material yang terdiri atas batugamping | -Tidak cocok untuk daerah tambang batubara / bijih |
| [21] | EPIK | -Cocok untuk daerah karst -Dapat digunakan dalam skala besar (daerah yang sangat luas) | Tidak cocok untuk daerah selain karst |
| [1], [5] | SINTACS | -Cocok digunakan untuk kerentanan airtanah dengan skala kecil karena menghasilkan zona kerentanan tinggi di daerah yang terkait dengan perairan dan interaksi akuifer -Dapat di overlay pada metode DRASTIC (parameter nya sama dengan DRASTIC) | -Membutuhkan data yang cukup banyak dan rinci |
| [7] | SI | Biasa digunakan untuk wilayah pertanian, dan pencemaran dengan nitrat | Tidak direkomendasikan untuk daerah tambang, karena salah satu variabelnya "Land Use", hanya untuk daerah pertanian dan perkebunan |
| [6],[16], [25] | AVI, SEEPAGE, PRAST, APLIS | Cocok digunakan untuk kerentanan airtanah terhadap pencemaran | Tidak cocok di gunakan untuk pemetaan didaerah tambang batubara/bijih |

4. KESIMPULAN

Berdasarkan studi literatur dari berbagai jurnal mengenai kerentanan airtanah, maka dapat ditarik kesimpulan :

1. Metode yang mendekati cocok dalam penentuan kerentanan airtanah untuk kegiatan pertambangan adalah Metode DRASTIC
2. Metode SINTACS dapat di overlaying dari metode DRASTIC , menimbang bahwa parameter metode SINTACS sama dengan parameter metode DRASTIC, sehingga metode SINTAC juga dapat diterapkan dalam rencana kegiatan pertambangan
3. Metode yang cocok untuk wilayah Karst adalah COP,GOD,PI,EPIK

UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam penyusunan paper ini tidak terlepas dukungan dari berbagai pihak khususnya Kepada Prodi Teknik Pertambangan UPN “Veteran” Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andi W., Sisinggih D. 2016. Studi Kerentanan Airtanah Terhadap Kontaminan Di Cekungan Airtanah Negara Kabupaten Jembrana Provinsi Bali.
- [2] Akhtar, Malik M., Bailey, Earl., dan Dawood, Ammar S. 2015. Evaluation of Local Groundwater Vulnerability Based on DRASTIC Index Method in Lahore, Pakistan. *Geofisica International*, 54, 67-81.
- [3] Aller, L., Bennet, T., Lehr, J. H., Petty, R. J., Hackett, G. 1987. DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings, EPA/600/2-87/035. *US Environmental Protection Agency*. USA.
- [4] Cahyadi, A. 2017. Analisis Kerentanan Air Tanah Terhadap Pencemaran di Pulau Koral Sangat Kecil Dengan Menggunakan Metode GOD (Studi Kasus di Pulau Koral Pramuka, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta). *Parangtritis Geomaritime Science Park, Volume 2*.
- [5] Devy, Shalaho D., Hendrayana, Heru., Putra, Dony P.E. 2014. Pemodelan Air Tanah Daerah Penambangan Batubara Pit Terbuka di Muara Lawa, Kabupaten Kutai Barat, Kalimantan Timur. *Prosiding Seminar Nasional Kebumihan Ke-7*. Jurusan Teknik Geologi Universitas Gajah Mada.
- [6] Ferreira, J. P. Lobo., dan Oliveira, Manuel M. 2004. Groundwater Vulnerability Assessment in Portugal. *Geofisica International*, 4, 541-550.
- [7] Gemtzi, A.; Petalas, C.; Tsihrintzis, V.; dan Pisinaras, V. 2006. Assessment of Groundwater Vulnerability to Pollution: A combination of GIS, Fuzzy Logic and Decision Making Techniques. *Environ. Geol* 49: 653 – 673.
- [8] Ghazavi, R., dan Ebrahimi, Z. 2015. Assessing Groundwater Vulnerability to Contamination in An Arid Environment Using DRASTIC and GOD Models. *Int. J. Enviro. Sci. Technol*, 12, 2909-2918.
- [9] Gogu, Radu C., dan Dassargues, Alain. 2000. Current Trends and Future Challenges in Groundwater Vulnerability Assessment Using Overlay and Index Methods. *Environmental Geology*, 39,6.
- [10] Haq, Shofa Rijalul., Dwinagara, Barlian., Triana, Karlina., Cahyadi, T. A. 2013. Analisis Tingkat Kerentanan Air Tanah Pada Rencana Pertambangan Batubara di Barito Timur, Kalimantan Tengah. *Prosiding TPT XXII PERHAPI*.
- [11] Hastuti, D., Yulianto, T., dan Putranto, T.T. 2016. Analisis Kerentanan Airtanah terhadap Pencemaran di Dataran Alluvial Kota Semarang Menggunakan Metode GOD dengan Memanfaatkan Data Resistivitas dan Data Hidrogeologi. *Youngster Physics Journal*, 5(4): 277–290.
- [12] Hendayana, H. 2011. Kerentanan Airtanah terhadap pencemaran dan pemompaan.
- [13] Knouz, N., Bachaoui, E., and Boudhar, A. 2017. Cartography of intrinsic aquifer vulnerability to pollution using GOD method: Case study Beni Amir groundwater, Tadla, Morocco. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 8(3), hal 1046–1053.
- [14] Kusuma, K.I. 2009. Studi kerentanan air tanah menggunakan metode DRASTIC di urban area Kota Semarang. Universitas Diponegoro.
- [15] Maria, R., 2017. Comparative studies of groundwater vulnerability assessment. Global Colloquium on GeoSciences and Engineering. Bandung
- [16] Olojoku, I.K., Modreck, G., Adeyinka, O.S., and Adebayo, Y.M. 2017. Vulnerability Assessment of Shallow Aquifer Hand-Dug Wells in Rural Parts of Northcentral Nigeria using AVI and GOD Methods. *The Pacific Journal of Science and Technology*, 18(1), hal 325–333.
- [17] Piscopo, Gennaro. 2001. Groundwater Vulnerability Map Explanatory Notes. *NSW Department of Land and Water Conservation*.
- [18] Pujiyanto, Eko., Supangkal, Hendro., Utomo, Nendaryono M., Hakim, Achmad. 2011. Studi Pengaruh Penambangan Batubara Terhadap Kondisi Potensi Air Tanah di Daerah Kalimantan Selatan. *Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara*. Bandung.
- [19] Siswoyo, Hari. 2018. Identifikasi Tingkat Kerentanan Akuifer Terhadap Pencemaran di Kecamatan Sumobito Kabupaten Jombang Dengan Menggunakan Metode GOD. *Jurnal Sains dan Edukasi Sains*, 1(2), hal 1-6.
- [20] Tjang, Andreas Archie Candra Saputra Wijaya., Thomas Triadi Putranto., Istiqomah Ari Kusuma. 2017. Studi Kerentanan Air Tanah Terhadap Pencemaran dan Pemompaan Dengan Metode Groundwater Occurance, Overlying Lithology, dan Depth of Groundater (GOD) di Kecamatan Grobogan dan Kecamatan Purwodadi.
- [21] Vias, J.M., Andreo, B., Peries, M. J., dan Carrasco, F. 2005. A Comparative Study of Four Schemes For Groundwater Vulnerability Mapping in A Diffuse Flow Carbonate Aquifer Under Mediterranean Climatic Conditions. *Enviro Geology*, 47: 586-595.
- [22] Widiastuti, A.P. dan Widyastuti. 2012. Zonasi Kerentanan Air Tanah Bebas terhadap Pencemaran dengan Metode APLIS di Kecamatan Wonosari Kabupaten Gunung Kidul. *Jurnal Bumi Indonesia* Vol. 1, No. 2, 38-46.

-
- [23] Widyastuti, M., Notosiswoyo, S., dan Anggayana, K. 2006. Pengembangan Metode DRASTIC untuk Prediksi Kerentanan Air Tanah Terhadap Pencemaran di Sleman. *Majalah Geografi Indonesia*, Vol. 20, No.1, hal 33 – 51.
- [24] Nugeraha, P. Analisis Kerentanan Airtanah Terhadap Rencana Penambangan Di Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan Dengan Menggunakan Metode DRASTIC. Thesis. Sumatera Selatan : Postgraduate UPN Veteran Yogyakarta; 2018.
- [25] Kodoatie, R.J. Tata Ruang Air Tanah. Yogyakarta : BTL Comm. 2012.