

## Tinjauan Literatur Sistematis dan Analisis Bibliometrik Penelitian Kerentanan Airtanah di Indonesia (2013-2021)

Adam Raka Ekasara<sup>1\*</sup>, Nuha Amiratul Afifah,<sup>2</sup> Riska Aprilia Triyadi<sup>2</sup> Thema Arrisaldi<sup>1</sup>, Daniel Radityo<sup>1</sup>,  
Hasan Tri Atmojo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Geologi Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta  
Jl.Padjajaran (Ringroad Utara) No.104 Condongcatur, Sleman, Yogyakarta 55283

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta  
Jl.Padjajaran (Ringroad Utara) No.104 Condongcatur, Sleman, Yogyakarta 55283

\*Email: [adam.raka@upnyk.ac.id](mailto:adam.raka@upnyk.ac.id)

**Abstrak** - Kebutuhan masyarakat terkait dengan airtanah semakin meningkat. Penilaian kerentanan airtanah menjadi salah satu cara untuk melindungi sumber daya airtanah agar tidak tercemar. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan tinjauan literatur sistematis dan analisis bibliometrik untuk penelitian kerentanan airtanah di Indonesia menggunakan basis data Scopus. Parameter yang dianalisis berupa jumlah terbitan, sumber jurnal/prosiding, kata kunci dan jumlah kutipan. Dari hasil pencarian didapatkan 26 artikel dari 74 penulis pada rentang 2013-2021. Kata kunci populer yang muncul pada penelitian diantaranya *groundwater pollution*, *groundwater vulnerability*, *groundwater resources*, *aquifers*, dan *groundwater*. Pengolahan data dan visualisasi menggunakan aplikasi Bibliometrix dan VOSviewer. Dari hasil analisis disusun peta tematik yang menggambarkan 4 kuadran berdasarkan tingkat kepadatan dan tingkat sentralitas. Peta tematik ini diharapkan bisa menjadi acuan untuk penelitian kerentanan airtanah di Indonesia.

**Kata kunci:** airtanah, analisis bibliometrik, Bibliometrix VOSviewer

**Abstract** - *The needs of the community related to groundwater are increasing. Assessing groundwater vulnerability is one way to protect groundwater resources from being polluted. This study aims to review systematic literature and bibliometric analysis for groundwater vulnerability research in Indonesia using the Scopus database. The parameters were analyzed through several publications, journals/proceedings, keywords and total citations. The search results found 26 articles from 74 authors in the range 2013-2021. Popular keywords that emerged in research include groundwater pollution, groundwater vulnerability, groundwater resources, aquifers, and groundwater. Data processing and visualization using the bibliometric and VOSviewer applications. The results of the analysis compiled a thematic map that describes 4 quadrants based on density and centrality levels. This thematic map is expected to be a reference for groundwater vulnerability research in Indonesia.*

**Keywords:** *groundwater, bibliometric analysis, Bibliometrix VOSviewer*

### PENDAHULUAN

Airtanah memasok air minum untuk setidaknya setengah dari populasi dunia, dan lebih dari 2,5 miliar orang di seluruh dunia bergantung pada sumber daya air tanah untuk memenuhi kebutuhan dasar air harian mereka (Guppy et al, 2020). Penilaian kerentanan airtanah dapat dianggap sebagai alat pengelolaan yang efisien untuk melindungi sumber daya air tanah agar tidak tercemar (Machiwal et al., 2018). Hal ini dapat mengidentifikasi perkiraan area di mana ada kemungkinan besar polutan menyebar atau meresap dari permukaan ke sistem air tanah (Machiwal et al., 2018), dan ini juga merupakan “langkah pertama” dan “prioritas” untuk hidrogeologi terperinci. investigasi dan pengelolaan air tanah berkelanjutan di masa depan (Asfaw dan Mengistu, 2020).

Analisis bibliometrik adalah salah satu metode statistik untuk menganalisis dan memvisualisasikan dampak keluaran penelitian dari literatur (Garfield, 2009). Metode ini telah banyak digunakan di berbagai bidang dan disiplin ilmu. Dibandingkan dengan tinjauan literatur konvensional, analisis bibliometrik memungkinkan para peneliti dengan cepat dan jelas memahami sejarah disiplin, pengetahuan dasar, status saat ini, proses evolusi, peluang, dan tantangan dari perspektif statistik (Cao et al., 2021).

Dalam artikel ini, analisis bibliometrik dilakukan terhadap data publikasi mengenai kerentanan airtanah di Indonesia. Basis data publikasi yang digunakan adalah basis data Scopus. Adapun topik utama yang dikaji meliputi karakteristik umum publikasi, sumber jurnal, penulis produktif, kata kunci, dan peta tematik untuk penelitian kerentanan airtanah di Indonesia.

## METODOLOGI

Metodologi yang digunakan pada penelitian ini secara umum menggunakan *systemmatic literature review* yang terdiri dari tiga tahapan yaitu: (i) pencarian dan pemilihan data; (ii) pengolahan data; serta (iii) analisis dan interpretasi.

Tahapan pencarian dan pemilihan data bertujuan untuk memilih artikel yang sesuai dengan topik penelitian dari seluruh publikasi yang tersedia pada basis data Scopus dengan menggunakan operator boolean (and, or) untuk menghubungkan batasan-batasan kriteria. Kriteria yang digunakan untuk pemilihan diantaranya kata kunci-judul-abstrak, negara afiliasi, dan ruang lingkup keilmuan.

Tahapan pengolahan data menggunakan aplikasi bibliometrix dan vosviewer. Aplikasi bibliometrix untuk mengolah data publikasi menjadi informasi statistik. Aplikasi VOSviewer menampilkan visualisasi bibliometrik dengan tipe analisis *co-occurrence* untuk mengolah data kata kunci untuk seluruh artikel terpilih.

Tahapan analisis dan interpretasi berupa proses telaah *systemmatic literature review* terkait seluruh publikasi terpilih serta interpretasi dari hasil pengolahan statistik dan visualisasi yang dihasilkan dari tahapan sebelumnya.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pencarian sistematis dari basis data *Scopus* dilakukan dengan melalui empat tahapan. Tabel 1 menunjukkan deskripsi dan kriteria pencarian yang digunakan beserta jumlah dokumen yang diseleksi. Pencarian sistematis menghasilkan 26 dokumen penelitian kerentanan airtanah di Indonesia yang akan ditinjau secara lebih spesifik

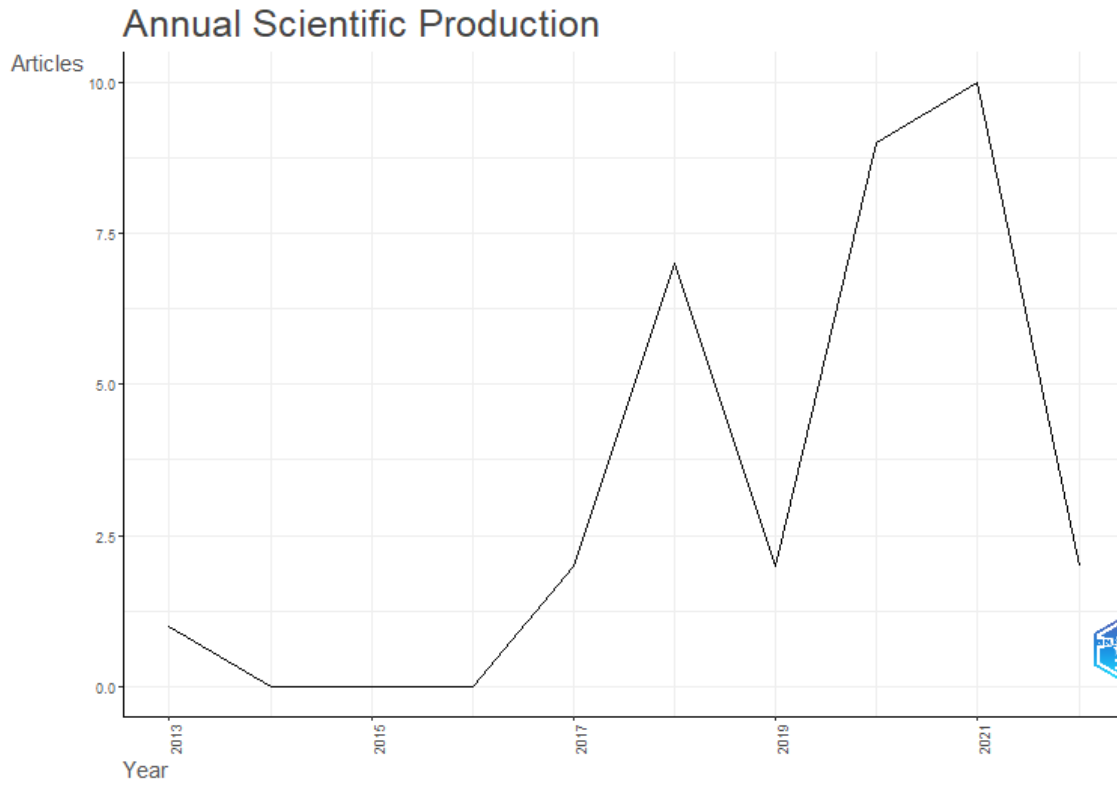
Tabel 1. Kriteria Pencarian Sistematis

| Tahapan ke- | Deskripsi   | Kriteria Pencarian                             | Jumlah Hasil |
|-------------|---|--|--------------|
| 1.          | Penulisan kata kunci yang berhubungan kerentanan airtanah | TITLE-ABS-KEY ( "GROUNDWATER VULNERABILITY" )  | 1403         |
| 2.          | Afiliasi negara dibatasi hanya untuk negara Indonesia     | AND( LIMIT-TO ( AFFILCOUNTRY , "Indonesia" ) ) | 35           |
| 3.          | Publikasi terkait sosial delimitasi                       | AND ( EXCLUDE ( SUBJAREA , "SOCI" ) )          | 31           |
| 4.          | Telaah secara manual terkait kesesuaian topik             | -  | 26           |

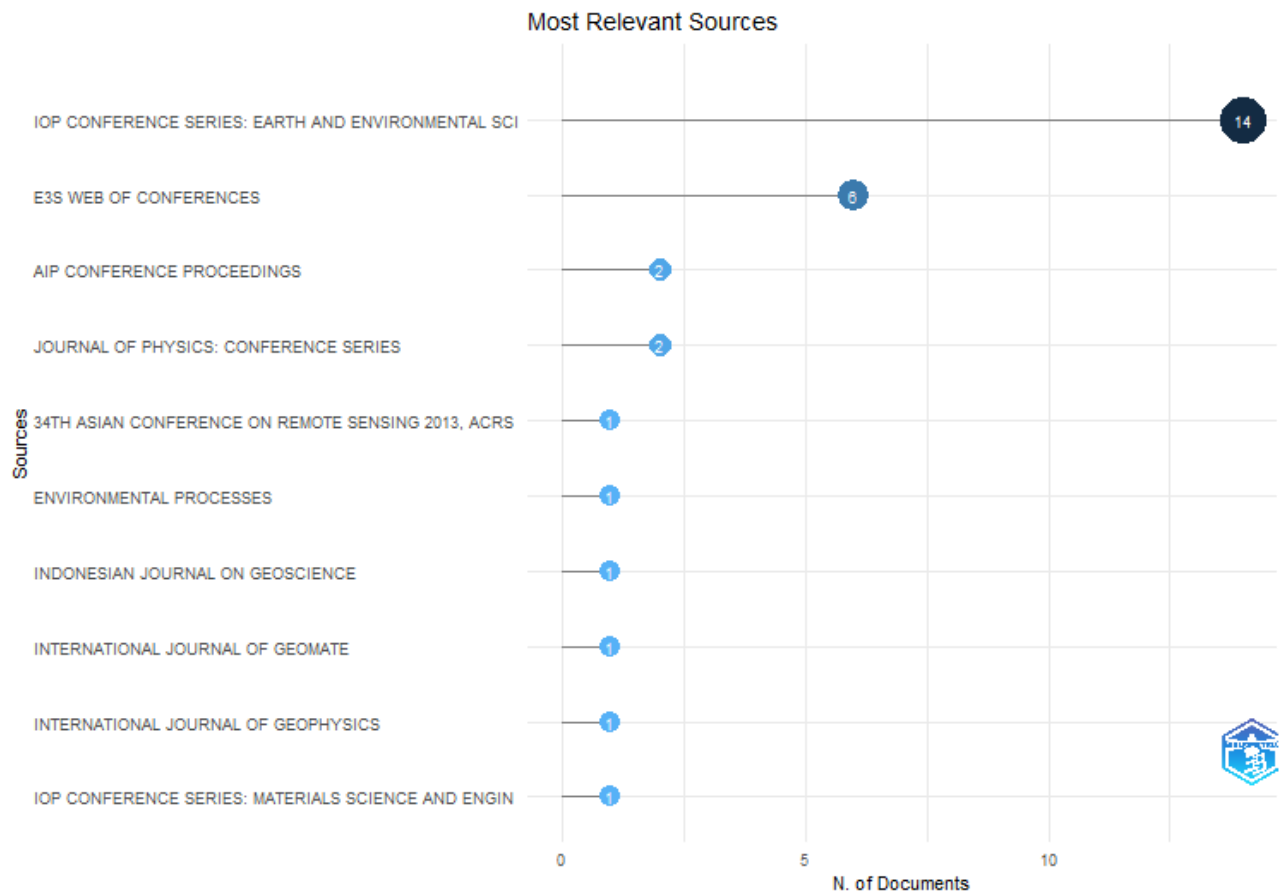
### Tinjauan Umum

Penelitian terkait dengan kerentanan airtanah di Indonesia yang terindeks dalam basis data Scopus berkisar pada tahun 2013 – 2021 terdapat 33 dokumen yang berasal dari 13 jurnal/prosiding dan 74 penulis. Jumlah kata kunci yang terkumpul dari seluruh publikasi sebanyak 201. Laju pertumbuhan publikasi sebesar 8,01% per tahun (Gambar 1).

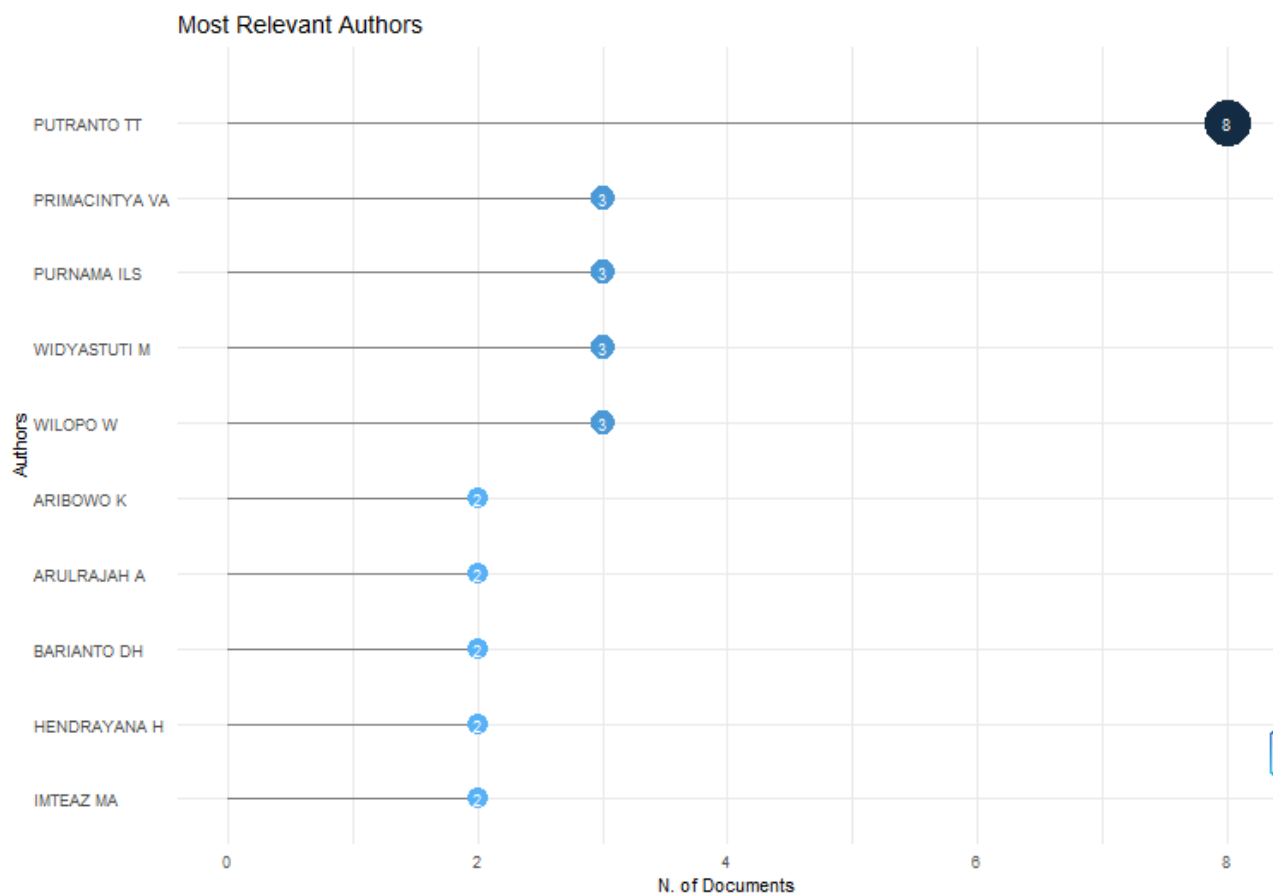
Sumber yang paling banyak memuat publikasi terkait kerentanan airtanah di Indonesia mayoritas masih berasal dari prosiding (Gambar 2). Tiga sumber yang paling banyak memuat publikasi terkait kerentanan airtanah berturut-turut adalah IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (14 publikasi), E3S Web Of Conferences (6 publikasi) dan AIP Conference Proceedings (2 publikasi). Dari sudut pandang penulis, Putranto, T.T menjadi penulis paling produktif dan konsisten dalam meneliti kerentanan airtanah di Indonesia (Gambar 3 dan 4)



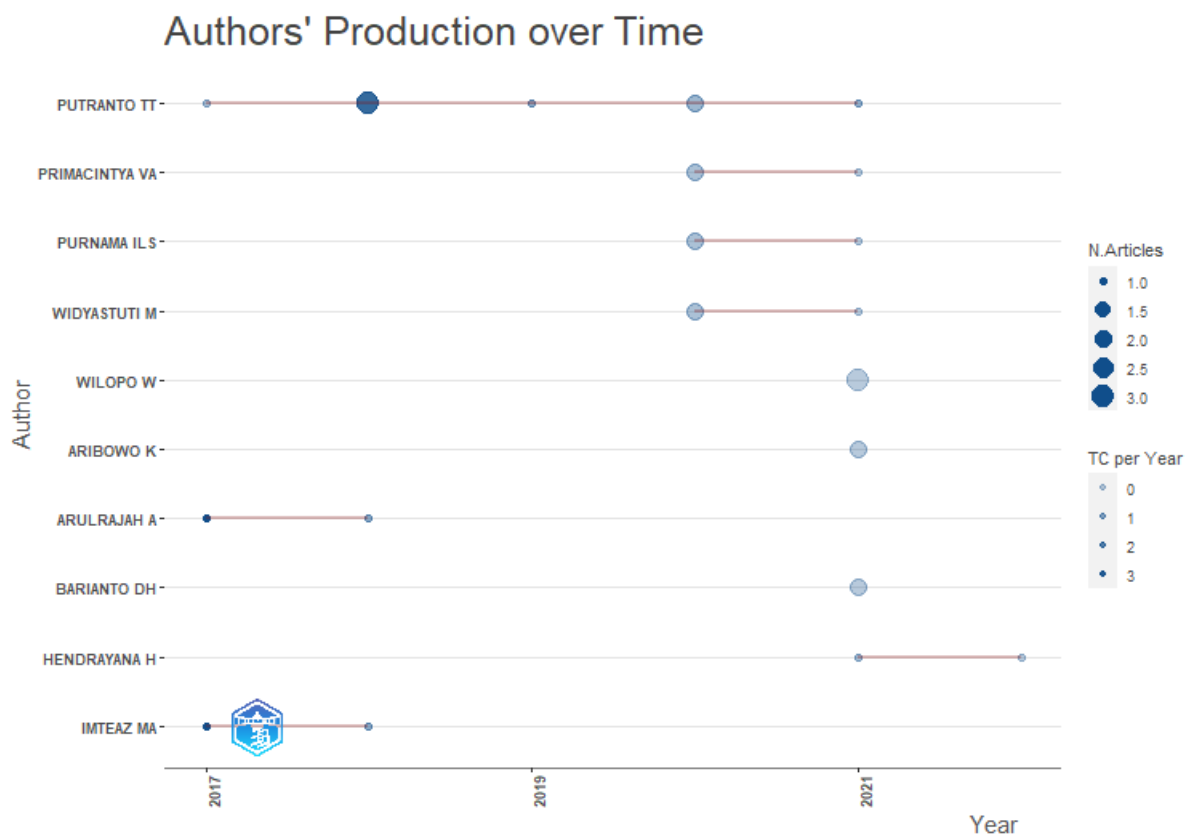
Gambar 1. Grafik produksi penelitian



Gambar 2. Sumber yang paling banyak digunakan



Gambar 3. Penulis paling produktif.



Gambar 4. Produktivitas dan konsistensi penulis

### Hubungan antar kata kunci

Dari seluruh kata kunci yang muncul dalam artikel, kata kunci yang paling populer adalah *groundwater pollution* dan *groundwater vulnerability*. Menyusul di urutan ke-3 hingga ke-5 adalah *groundwater resources*, *aquifers*, dan *groundwater* (Gambar 5 dan 6).

Seluruh kata kunci diolah untuk memetakan pengelompokan hubungan antar kata kunci yang muncul. Dilakukan beberapa simulasi untuk memperlihatkan pengelompokan. Simulasi pertama dilakukan untuk kata kunci yang muncul minimal 3 kali dari seluruh publikasi (Gambar 7). Hasil visualisasi memperlihatkan 3 *cluster* besar yang diwakili oleh warna hijau, merah, dan biru. Terdapat 171 *link* yang menghubungkan kata kunci yang berbeda dari 467 *link* yang tersedia.

Simulasi kedua dilakukan untuk kata kunci yang muncul minimal 2 kali dari seluruh publikasi (Gambar 8). Hasil visualisasi memperlihatkan 6 *cluster* besar yang diwakili oleh warna hijau, merah, kuning, ungu, biru muda dan biru tua. Terdapat 548 *link* yang menghubungkan kata kunci yang berbeda dari 965 *link* yang tersedia.

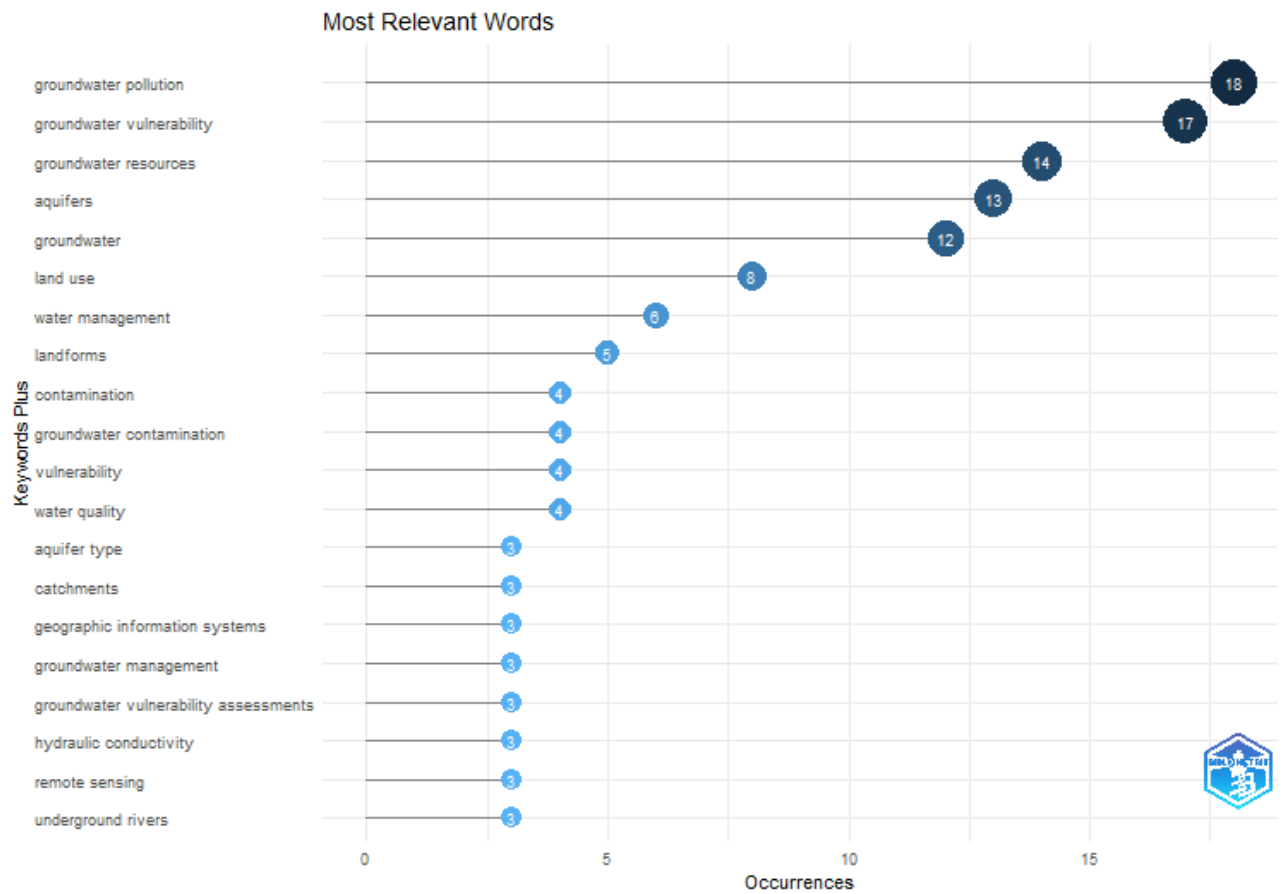
Analisis bibliometrik juga melakukan pengelompokan untuk memetakan seluruh kata kunci yang saling terhubung ke dalam empat kuadran (Gambar 9). Peta tematik mengelompokkan empat kuadran berbeda berdasarkan tingkat kepadatan dan tingkat sentralitas. Sentralitas mengukur kekuatan ikatan eksternal dengan tema lain. Nilai sentralitas dapat dipahami sebagai ukuran pentingnya tema dalam pengembangan seluruh bidang penelitian. Di sisi lain, kepadatan mengukur kekuatan ikatan internal di antara semua kata kunci yang menggambarkan tema penelitian. Nilai ini dapat dipahami sebagai ukuran perkembangan tema. Peta tematik dalam penelitian ini dikelompokkan menjadi 6 kelompok penelitian yang masuk ke dalam empat kuadran (Gambar 10).

Kuadran kanan atas menunjukkan tema motor. Mereka dicirikan oleh sentralitas tinggi dan kepadatan tinggi; Oleh karena itu, topik dalam kuadran ini penting dalam bidang penelitian. Dalam kuadran ini terdapat dua kelompok penelitian diantaranya terkait dengan *hazards*, *hazards pollution*, *river pollution* dan *remote sensing*. Kelompok kedua terkait dengan *groundwater pollution*, *groundwater vulnerability*, *groundwater resources*, dan *aquifers*

Topik yang mendasar berada pada kuadran kanan bawah. Kuadran ini mewakili topik dengan sentralitas tinggi dan kepadatan rendah. Topik yang termasuk dalam kuadran ini yaitu diwakili oleh satu kelompok penelitian yang terkait dengan *water management*, *landforms*, *catchments*, *groundwater management*, dan *underground rivers*.

Kuadran kiri atas ditandai dengan kepadatan tinggi tetapi sentralitas rendah. Ini berarti bahwa topik-topik ini sangat penting untuk bidang penelitian. Topik ini diwakili oleh satu kelompok penelitian terkait dengan *hydraulic conductivity*, *aquifer*, *eogenetic karsts*, *groundwater modelling*, dan *human activity* hubungan air tanah dengan kawasan pantai serta filtrasi air dan air bersih.

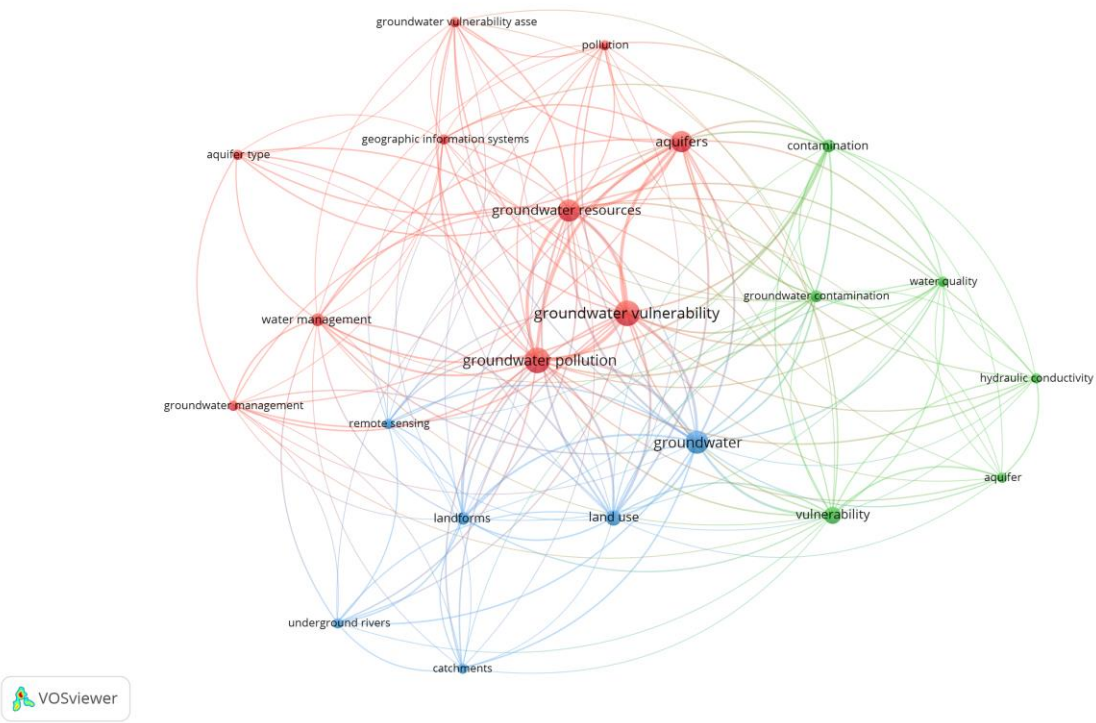
Topik yang muncul atau mulai menurun berada di kuadran kiri bawah. Topik ini terkait dengan hubungan airtanah dengan sungai, intrusi air tanah dan gempa bumi.



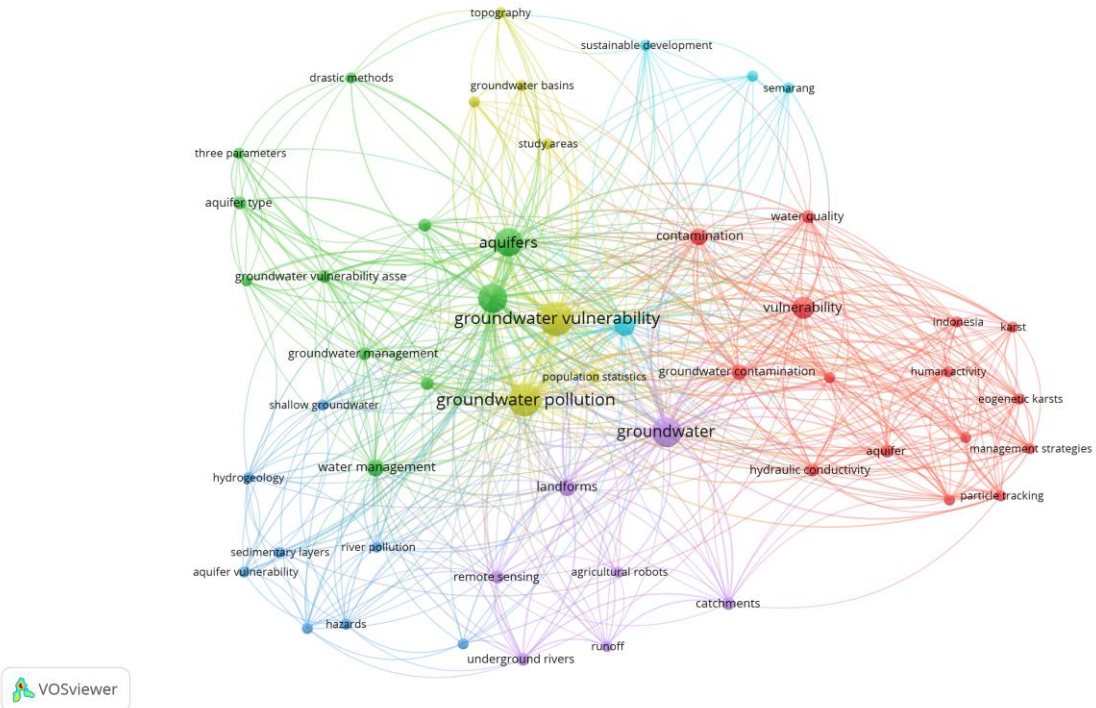
Gambar 5. Kata kunci terbanyak dalam artikel



Gambar 6. Kata kunci beserta jumlah kemunculan dan persentase



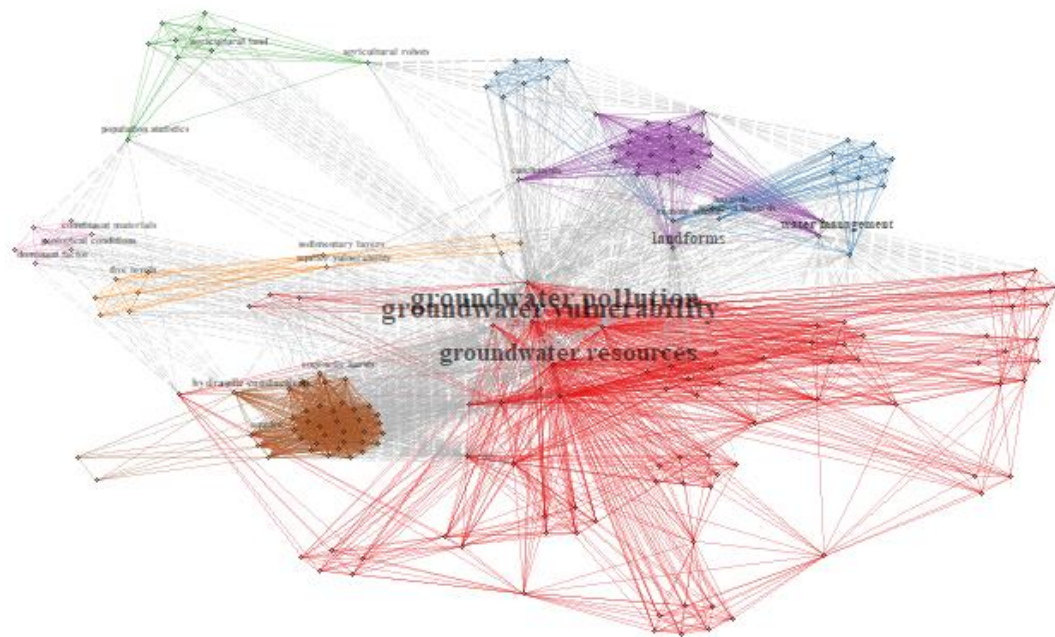
Gambar 7. Visualisasi kemunculan kata kunci minimal 3 kali



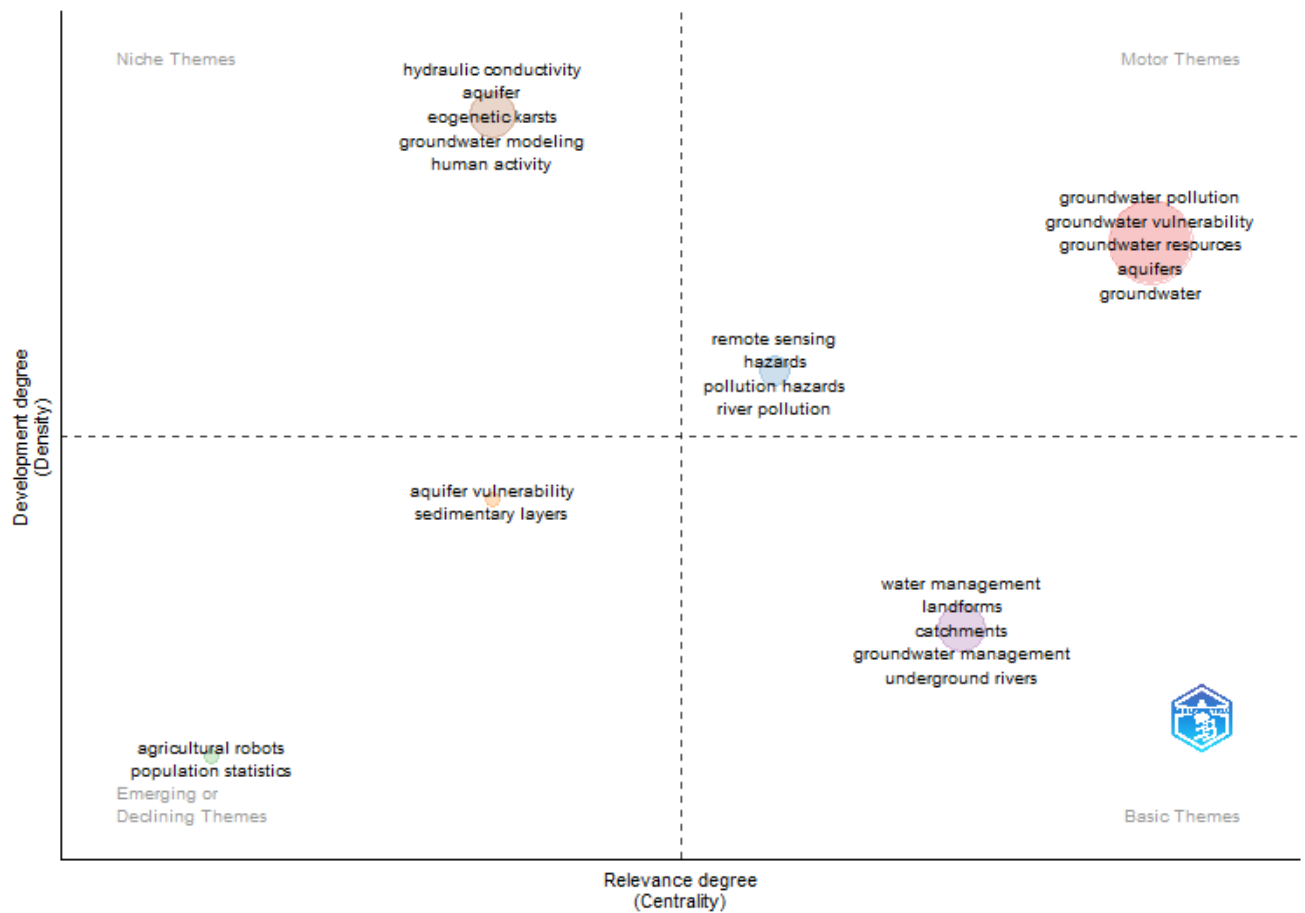
Gambar 8. Visualisasi kemunculan kata kunci minimal 2 kali



**Keyword co-occurrences**



Gambar 9. Visualisasi kata kunci keseluruhan



Gambar 10. Peta Tematik Penelitian kerentanan airtanah di Indonesia



Hasil *Systemmatic Literature Review*.

Penelitian kerentanan airtanah selain memiliki keragaman secara lokasi juga memiliki keragaman secara metode yang digunakan. Hasil tinjauan literatur sistematik menunjukkan ada beberapa metode yang digunakan dalam penelitian kerentanan airtanah di Indonesia diantaranya GOD(Sukmawati Rukmana et al., 2020; Widodo et al., 2021), DRASTIC (Aribowo et al., 2021b; Kesuma et al., 2017; Koesuma et al., 2021; Machdar et al., 2018; Putranto & Aribowo, 2020; Wicaksono et al., 2013), HGZ (Klaas et al., 2017, 2018), COP (Yogafanny & Legono, 2021), APLIS (Syafarini et al., 2021), SVV (Aribowo et al., 2021a), EPIK (Riyanto et al., 2020; Syahidin & Murti, 2021), AVI (Putranto et al., 2018; Putranto & Yusrizal, 2018; Siswoyo & Azhar, 2019), SINTACS dan SINTACS Lu (Ayu Wandari et al., 2020; Primastuti & Kusratmoko, 2018), SI (Marjuanto et al., 2019), DRANTHVP (Ahadiah & Widyastuti, 2020), PCSM(Putranto & Marjuanto, 2021). Selain satu metode tunggal ada juga yang menggunakan integrasi beberapa metode diantaranya GOD dan DRASTIC (Purnama & Primacintya, 2020), AVI – GOD – SINTACS - DRASTIC (Nugraha et al., 2020), Tabel 2 menunjukkan 8 artikel yang paling banyak dikutip berkaitan dengan penelitian kerentanan airtanah di Indonesia. Kutipan terbanyak adalah pada artikel penelitian terkait dengan kerentanan airtanah pada daerah karst.

Tabel 2. Publikasi dengan sitasi terbanyak

| No. | Judul Publikasi  | Penulis   | Tahun | J  | Jumlah sitasi |
|-----|--|---|-------|--|---------------|
| 1   | Development of groundwater vulnerability zones in a data-scarce eogenetic karst area using Head-Guided Zonation and particle-tracking simulation methods | Klaas, D.K.S.Y., Imteaz, M.A., Arulrajah, A.                                      | 2017  | Water Research 122, pp. 17-26  | 24            |
| 2   | Assessment of groundwater vulnerability using DRASTIC Model and GIS : A case study of two sub-districts in Banda Aceh city, Indonesia                    | Machdar, I., Zulfikar, T., Rinaldi, W., Alfiansyah, Y.                            | 2018  | IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 334(1),012032 | 8             |
| 3   | Assessment of Groundwater Vulnerability Using GOD Method   | Sukmawati Rukmana, B.T., Bargawa, W.S., Cahyadi, T.A.                             | 2020  | IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 477(1),012020   | 6             |
| 4   | Determining the groundwater vulnerability using the aquifer vulnerability index (AVI) in the Salatiga groundwater basin in Indonesia                     | Putranto, T.T., Yusrizal, M.B.S.  | 2018  | AIP Conference Proceedings 2021,030016                                 | 6             |
| 5   | Mapping Groundwater Vulnerability Zones in Eogenetic Karst Catchment Using Particle-tracking Method  | Klaas, D.K.S.Y., Imteaz, M.A., Arulrajah, A., (...), Klaas, E.M.E., Klaas, E.C.M. | 2018  | IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 159(1),012011   | 5             |
| 6   | Application of Aquifer Vulnerability Index (AVI) method to assess groundwater vulnerability to contamination in Semarang urban area                      | Putranto, T.T., Santi, N., Widiarso, D.A., Pamungkas, D.                          | 2018  | MATEC Web of Conferences 159,01036                                     | 5             |
| 7   | Karst Groundwater Vulnerability and Risk to Pollution Hazard in the Eastern Part of Gunungsewu Karst Area  | Budiyanto, E., Muzayanah, Prasetyo, K.  | 2020  | IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 412(1),012020   | 4             |

|   |   |   |      |                                  |   |
|---|---|---|------|----------------------------------|---|
| 8 | Mapping of Groundwater Vulnerability Index in the Alluvial Plain of Semarang City Using the Susceptibility Index Method | Marjuanto, A.A., Putranto, T.T., Sugianto, D.N. | 2019 | E3S Web of Conferences 125,01010 | 4 |
|---|---|---|------|----------------------------------|---|

## KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa analisis bibliometrik terkait penelitian kerentanan airtanah di Indonesia yang terindeks dalam basis data *scopus* terkumpul sebanyak 26 artikel yang ditulis oleh 74 penulis pada periode 2013-2021. Kata kunci populer yang muncul pada penelitian diantaranya *groundwater pollution*, *groundwater vulnerability*, *groundwater resources*, *aquifers*, dan *groundwater*. Dari analisis kata kunci penelitian kerentanan airtanah dikelompokkan ke dalam 4 kuadran dalam peta tematik. Kompilasi dengan data Google Scholar terutama untuk menampung publikasi dengan bahasa Indonesia sebagai pengantar akan melengkapi analisis pada penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahadiah, S. N., & Widyastuti, M. (2020). Study of groundwater vulnerability to contamination using the DRANTHVP method in wates groundwater Basin, Indonesia. In E. Haryono, F. Lavigne, C. O. R, B. White, C. T. A, R. H. D, & F. P. R (Eds.), *E3S Web of Conferences* (Vol. 200). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020002022>
- Aribowo, K., Wilopo, W., & Barianto, D. H. (2021a). Groundwater vulnerability assessment and mapping in shallow groundwater. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 926(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/926/1/012047>
- Aribowo, K., Wilopo, W., & Barianto, D. H. (2021b). Groundwater Vulnerability Mapping in Muntilan and its Surrounding Area, Magelang Regency, Central Java, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 930(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/930/1/012053>
- Asfaw, D., Mengistu, D., 2020. Modeling megech watershed aquifer vulnerability to pollution using modified DRASTIC model for sustainable groundwater management, Northwestern Ethiopia. *Groundwat. Sustain. Dev.* 11, 100375 <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100375>.
- Ayu Wandari, K., Purnama, I. L. S., & Primacintya, V. A. (2020). Groundwater vulnerability study using SINTACS method in Banguntapan district, Bantul Regency. In E. Haryono, F. Lavigne, C. O. R, B. White, C. T. A, R. H. D, & F. P. R (Eds.), *E3S Web of Conferences* (Vol. 200). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020002013>
- Cao, T., Han, D., Song, X., 2021. Past, present, and future of global seawater intrusion research: A bibliometric analysis. *J. Hydrol.* 603, 126844 <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126844>.
- Garfield, E., (2009). From the science of science to Scientometrics visualizing the history of science with HistCite software. *J. Informet.* 3 (3), 173–179. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2009.03.009>.
- Guppy, L.; Uyttendaele, P.; Villholth, K.G.; Smakhtin, V.U. (2018). *Groundwater and Sustainable Development Goals: Analysis of Interlinkages*; United Nations University Institute for Water, Environment and Health: Hamilton, ON, USA,
- Kesuma, D. A., Purwanto, P., Putranto, T. T., & Rahmani, T. P. D. (2017). Factor weighting in DRASTIC modelling for assessing the groundwater vulnerability in Salatiga groundwater basin, Central Java Province, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 70(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/70/1/012008>
- Klaas, D. K. S. Y., Imteaz, M. A., & Arulrajah, A. (2017). Development of groundwater vulnerability zones in a data-scarce eogenetic karst area using Head-Guided Zonation and particle-tracking simulation methods. *Water Research*, 122, 17–26. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.05.056>
- Klaas, D. K. S. Y., Imteaz, M. A., Arulrajah, A., Sudiayem, I., Klaas, E. M. E., & Klaas, E. C. M. (2018). Mapping Groundwater Vulnerability Zones in Eogenetic Karst Catchment Using Particle-tracking Method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 159(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/159/1/012011>

- Koesuma, S., Asrib, M. L., & Wijayanti, P. (2021). Analysis of free groundwater vulnerability level to pollution using “DRASTIC METHOD” development in Surakarta city. *Journal of Physics: Conference Series*, 1825(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1825/1/012009>
- Machdar, I., Zulfikar, T., Rinaldi, W., & Alfiansyah, Y. (2018). Assessment of groundwater vulnerability using DRASTIC Model and GIS : A case study of two sub-districts in Banda Aceh city, Indonesia. In W. Rinaldi, Y. null, C. M. Rosnelly, & S. Aprilia (Eds.), *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 334, Issue 1). Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/334/1/012032>
- Machiwal, D., Jha, M.K., Singh, V.P., Mohan, C., (2018). Assessment and mapping of groundwater vulnerability to pollution: Current status and challenges. *Earth Sci. Rev.* 185, 901–927. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.08.009>.
- Marjuanto, A. A., Putranto, T. T., & Sugianto, D. N. (2019). Mapping of Groundwater Vulnerability Index in the Alluvial Plain of Semarang City Using the Susceptibility Index Method. In H. null, B. Warsito, & E. Maryono (Eds.), *E3S Web of Conferences* (Vol. 125). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912501010>
- Nugraha, G. U., Gaol, K. L., Hartanto, P., & Bakti, H. (2020). Aquifer Vulnerability: Its Protection and Management - A Case Study in Pangkalpinang City, Indonesia. *International Journal of Geophysics*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8887914>
- Primastuti, D. W., & Kusratmoko, E. (2018). Spatial pattern of shallow groundwater vulnerability to contamination using SINTACS model in Taman rahayu, Bekasi Regency. In I. Meilano, T. Ito, P. R. Cummins, & Z. null (Eds.), *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1987). American Institute of Physics Inc. <https://doi.org/10.1063/1.5047391>
- Purnama, I. L. S., & Primacintya, V. A. (2020). Groundwater vulnerability assessment to pollution in Kasihan, Bantul Regency: A comparative method study (GOD, SINTACS and DRASTIC). In E. Haryono, F. Lavigne, C. O. R, B. White, C. T. A, R. H. D, & F. P. R (Eds.), *E3S Web of Conferences* (Vol. 200). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020002012>
- Putranto, T. T., & Aribowo, Y. (2020). Spatial Analysis to Evaluate Groundwater Vulnerability to Contamination of Unconfined Aquifer in Semarang Lowland Area Using DRASTIC Method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 448(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/448/1/012015>
- Putranto, T. T., & Marjuanto, A. A. (2021). Assessment of contamination vulnerability of groundwater using susceptibility index method: Semarang city as case study. *Journal of Engineering Science and Technology*, 16(1), 438–454. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85101541177&partnerID=40&md5=434d457f13e2265c9bc7db1c63a4148f>
- Putranto, T. T., Santi, N., Widiarso, D. A., & Pamungkas, D. (2018). Application of Aquifer Vulnerability Index (AVI) method to assess groundwater vulnerability to contamination in Semarang urban area. In J. D. Setiawan, J. U. D. Hatmoko, O. Kurdi, B. H. Setiadji, A. Widodo, & A. L. Han (Eds.), *MATEC Web of Conferences* (Vol. 159). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201815901036>
- Putranto, T. T., & Yusrizal, M. B. S. (2018). Determining the groundwater vulnerability using the aquifer vulnerability index (AVI) in the Salatiga groundwater basin in Indonesia. In C. Karim, R. Azrianingsih, M. A. Pamungkas, Y. D. Jatmiko, & A. Safitri (Eds.), *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2021). American Institute of Physics Inc. <https://doi.org/10.1063/1.5062740>
- Riyanto, I. A., Widyastuti, M., Cahyadi, A., Agniy, R. F., & Adji, T. N. (2020). Groundwater Management Based on Vulnerability to Contamination in the Tropical Karst Region of Guntur Spring, Gunungsewu Karst, Java Island, Indonesia. *Environmental Processes*, 7(4), 1277–1302. <https://doi.org/10.1007/s40710-020-00460-5>
- Siswoyo, H., & Azhar, R. F. (2019). Estimation of intrinsic vulnerability of shallow groundwater in Jombang District, Jombang Regency, East Java, Indonesia based on Aquifer Vulnerability Index. In F. S. Rondonuwu, C. R. Indrati, W. null, E. Sedyono, A. Setiawan, H. A. Parhusip, D. B. Nugroho, Y. Martono, A. Setiawan, N. A. Wibowo, & T. Mahatma (Eds.), *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1307, Issue 1). Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1307/1/012008>
- Sukmawati Rukmana, B. T., Bargawa, W. S., & Cahyadi, T. A. (2020). Assessment of Groundwater Vulnerability Using GOD Method. In C. T. Nugraheni, A. Widiyanti, & A. B. Shahra (Eds.), *IOP Conference Series: Earth and*

*Environmental Science* (Vol. 477, Issue 1). Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/477/1/012020>

Syafarini, H., Hendrayana, H., & Winardi, S. (2021). Application of the APLIS Method for Groundwater Vulnerability Assessment in Rote Island Karst Areas. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 926(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/926/1/012071>

Syahidin, U., & Murti, S. H. (2021). Groundwater vulnerability in karst area Pucung Village, Eromoko, Wonogiri District. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 824(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/824/1/012034>

Wicaksono, D., Yosilia, M. A., & Nugroho, G. A. (2013). Modeling of groundwater vulnerability assessment using drastic methods (study case : Parangtritis coastal zone, Yogyakarta special region). *34th Asian Conference on Remote Sensing 2013, ACRS 2013*, 3, 2845–2852. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84903473110&partnerID=40&md5=3c341d01a2ccc7dd6db72f195720563e>

Widodo, T., Wilopo, W., & Setianto, A. (2021). Groundwater Vulnerability to Pollution in Kediri City, East Java Province, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 930(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/930/1/012012>

Yogafanny, E., & Legono, D. (2021). Assessment of Groundwater Vulnerability using COP Method to Support the Groundwater Protection in Karst Area. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 930(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/930/1/012036>