

Perlindungan petir, sistem pentanahan dan resistivitas tanah: Studi bibliometrik

Jakah^{1*}; Dicky Muslim²; Anggoro Tri Mursito³; Zufaldi Zakaria⁴; Eko Tri Sumarnadi⁵

^{1,2,4} Program Magister Inovasi Regional Sekolah Pascasarjana Universitas Padjadjaran

^{1,3} Pusat Riset Geoteknologi BRIN

^{2,4} Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran

⁵ Teknik Pertambangan Sekolah Tinggi Teknologi Mineral Indonesia

*Korespondensi: jakah19001@mail.unpad.ac.id

Diajukan: 22-12-2020; **Direview:** 02-01-2021; **Diterima:** 21-04-2021; **Direvisi:** 11-02-2021

ABSTRACT

Increased lightning intensity generally causes an increase in the level of hazards such as infrastructure damage and death. To mitigate these hazards, research is necessary. Research developments can be seen from the various literature published in journals or books. This study aimed to quantitatively assess the development of research on lightning protection, grounding systems, and soil resistivity. The bibliometric method is used by searching based on keywords in the Scopus basis data, then visualizing it using VOSviewer. The results showed that the total identified publications were 706 publications all years, the first publication in 1967 and the highest in 2014-2020 with 481 publications (68.1%). The countries that dominate are China and Brazil. Universidade Federal de Minas Gerais was the most productive institution, while Silverio Visacro was the most productive writer. Engineering and energy are the most widely written subjects, while topics related to multidisciplinary are still rare (0.2%). Electric Power Systems Research Journal is the top journal that publishes this research topic. The publication progress map based on co-occurrences consists of 9 clusters. The few research topics include electrical safety, substation, and backfill materials, while current topics include towers, wind turbines, bentonite, natural enhancement materials, and electromagnetic models.

ABSTRAK

Peningkatan intensitas petir umumnya menyebabkan peningkatan level bahaya seperti kerusakan infrastruktur dan kematian. Untuk memitigasi bahaya tersebut, perlu dilakukan riset. Perkembangan riset dapat dilihat dari berbagai literatur yang diterbitkan pada jurnal atau buku. Studi ini bertujuan untuk menilai secara kuantitatif perkembangan riset tentang proteksi petir, sistem pentanahan dan resistivitas tanah. Metode yang digunakan yaitu metode bibliometrik dengan melakukan penelusuran berdasarkan kata kunci pada basis data *Scopus*, kemudian divisualisasi menggunakan *VOSviewer*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total publikasi teridentifikasi 706 publikasi semua tahun, publikasi pertama tahun 1967 dan tertinggi tahun 2014-2020 dengan 481 publikasi (68,1%). Negara yang mendominasi yaitu China dan Brazil. *Universidade Federal de Minas Gerais* merupakan lembaga paling produktif mempublikasikan topik penelitian ini, sedangkan Silverio Visacro menjadi penulis terproduktif. *Engineering* dan *energy* menjadi subjek paling banyak ditulis, sedangkan topik yang berkaitan dengan *multidisciplinary* masih jarang dijumpai (0,2%). *Electric Power Systems Research Journal* merupakan jurnal teratas yang mempublikasikan topik penelitian ini. Peta perkembangan publikasi berdasarkan *co-occurrences* terdiri dari 9 klaster. Topik riset yang masih sedikit diantaranya yaitu *substation*, *electrical safety*, dan *backfill material*, sedangkan topik terkini diantaranya *tower*, *wind turbine*, *bentonite*, *natural enhancement material*, dan *electromagnetic model*.

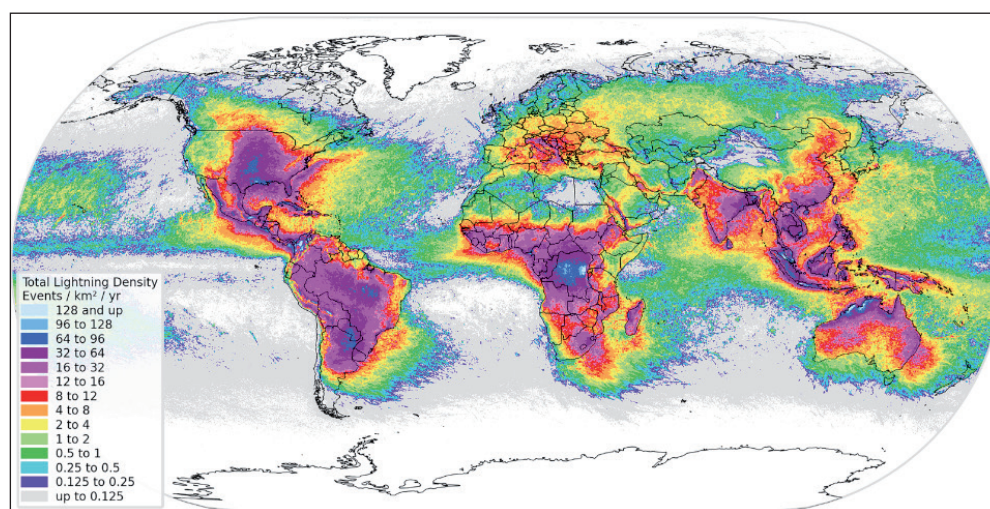
Keywords: *Earth; Climate change; Lightning; Research gaps; Research mapping; Scientometrics*

1. PENDAHULUAN

Bumi sebanyak 70% ditutupi lautan, sisanya merupakan daratan. Air laut mengalami evaporasi, kondensasi hingga terjadi hujan dan siklus ini terjadi terus menerus. Hujan merupakan salah satu persyaratan terjadinya petir (Ismujianto, Isdawimah, and Nadhiroh, 2019). Aktivitas petir yang tinggi,

umum terjadi pada wilayah dengan iklim tropis atau wilayah tropis seperti semua Asia Tenggara, Amerika Tengah dan sebagian Utara – Selatan, dan Afrika Tengah (Beck *et al.* 2018). Selain itu, fenomena La Nina yang kuat dalam beberapa tahun terakhir juga mempengaruhi peningkatan curah hujan pada musim kemarau, yang mengakibatkan potensi intensitas petir juga mengalami peningkatan (Ismujianto *et al.*, 2019; Rojas *et al.*, 2017).

Dalam kurun waktu beberapa tahun terakhir, tren intensitas petir di beberapa wilayah dunia mengalami perubahan. Tren penurunan terjadi di sebagian besar wilayah Amerika, sedangkan beberapa wilayah Asia mengalami peningkatan. Beberapa wilayah Asia diantaranya Asia Tenggara termasuk Indonesia. Hasil pengamatan Vaisala tahun 2016 – 2020 (Gambar 1), menunjukkan bahwa kerapatan petir di Indonesia rata-rata mencapai lebih dari 32 sambaran per km²/tahun dan cenderung meningkat dari tahun-tahun sebelumnya (Vaisala 2020).



Gambar 1. Kerapatan sambaran petir dunia per km²/tahun dari jaringan Global Lightning Dataset GLD360 tahun 2016 – 2020

Sumber: Vaisala (2020)

Berdasarkan peta sebaran sambaran petir yang dikeluarkan Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) tahun 2019 menunjukkan beberapa wilayah Indonesia memiliki sambaran rata-rata lebih dari 800.000 kali. Intensitas petir yang tinggi tersebar di sebagian besar Pulau Jawa, sebagian Pulau Sumatera, sebagian Pulau Kalimantan, dan beberapa wilayah lainnya (Iswanudin 2019). Semakin tinggi intensitas petir menyebabkan potensi risiko bahaya yang ditimbulkan juga meningkat, bahkan beberapa kejadian sambaran petir mengakibatkan kerusakan infrastruktur dan kematian. Untuk mengurangi dan meminimalisir risiko bahaya dari aktivitas petir (mitigasi), diperlukan perlindungan atau proteksi petir.

Perlindungan atau proteksi petir merupakan serangkaian upaya yang dilakukan dengan tujuan untuk melindungi dan meminimalisir potensi risiko bahaya dari aktivitas petir (Martin *et al.* 2019; Wan Ahmad *et al.* 2018). Sistem perlindungan petir terdiri dari perlindungan eksternal yang mencakup fisik struktur dan bahaya hidup, dan perlindungan internal mencakup sistem kelistrikan dan elektronik dalam struktur (Furse 2012). Pada perlindungan internal dapat dilakukan menghubungkan semua metal dengan sistem pentanahan (*grounding system*). Sedangkan sistem perlindungan petir luar struktur (eksternal) memiliki tiga bagian penting yaitu terminasi udara, konduktor turun dan sistem pentanahan. Terminasi udara berfungsi untuk menangkap petir, kemudian konduktor turun berfungsi menyalurkan arus petir ke dasar struktur, dan sistem pentanahan berfungsi menyebarkan arus petir ke bumi (Halim *et al.* 2019; Lee *et al.* 2015). Sistem pentanahan yang efektif membutuhkan jalur resistansi rendah, salah satunya dipengaruhi oleh resistivitas tanah (Azmi *et al.* 2019). Semakin rendah nilai resistivitas, semakin baik sistem pentanahan dan sistem perlindungan petir. Untuk

mendapatkan sistem perlindungan petir sebagai upaya mitigasi bahaya dari aktivitas petir perlu dilakukan riset.

Banyak publikasi yang berkaitan dengan proteksi petir, sistem pentanahan dan resistivitas tanah. Penilaian atau evaluasi perkembangan riset penting dilakukan, tujuannya selain untuk mengetahui gambaran riset terdahulu, juga membantu dalam merancang riset mendatang. Metode yang membantu dan cukup efektif, salah satunya studi bibliometrik. Bibliometrik merupakan suatu metode yang dapat digunakan untuk mengukur literatur pada basis data tertentu melalui pendekatan matematika dan statistik. Dengan metode bibliometrik kita dapat memvisualisasi literatur dalam bentuk peta riset (Bankar and Lihitkar 2019). Peta riset memiliki beberapa manfaat, salah satunya untuk mengetahui topik riset yang telah banyak dilakukan atau memiliki kerapatan tinggi, riset yang masih jarang atau bahkan belum dilakukan. Dengan demikian dapat merangsang munculnya ide riset yang terarah sesuai kebutuhan, mengikuti tren riset global, memiliki nilai kebaruan (*novelty*), dan memiliki orisinalitas tinggi.

Fokus utama studi ini yaitu mengetahui bagaimana perkembangan atau gambaran penelitian tentang perlindungan petir, *grounding* sistem, dan resistivitas tanah dengan metode bibliometrik menggunakan *VOSviewer* berdasarkan basis data *Scopus*. Berdasarkan hasil penelusuran belum ada studi yang melakukan studi baik skala global maupun regional. Tujuan studi ini untuk mengetahui tren perkembangan riset dari publikasi pertama hingga yang terkini, produktivitas lembaga/afiliasi, produktivitas penulis, sebaran subjek penelitian, jurnal utama, produktivitas negara, dan topik-topik penelitian. Tujuannya untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik dan komprehensif tentang perlindungan petir, *grounding* sistem, dan resistivitas tanah dari perspektif bibliometrik atau *scientometric*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Bibliometrics atau bibliometrik adalah metode matematika dan statistik untuk mempelajari dan mengidentifikasi pola-pola dalam penggunaan literatur/publikasi. Menurut Pattah (2013) dalam Himawanto (2016), bibliometrik dapat diartikan mengukur atau menganalisis buku atau literatur. Namun hingga saat ini bibliometrik lebih banyak digunakan untuk mengukur terbitan berkala, seperti majalah ilmiah atau jurnal. *Bibliometrics* untuk istilah yang lebih luas disebut *infometrics* sedangkan untuk istilah yang lebih sempit terkadang disebut *scientometrics* atau metrik sains (Ellegaard and Wallin, 2015). Metode bibliometrik telah digunakan untuk menyediakan analisis kuantitatif publikasi tertulis yang telah diterima secara luas, membantu menggambarkan struktur pengetahuan dan tren pengembangan penelitian tertentu. Beberapa studi bibliometrik yang telah dilakukan diantaranya tinjauan kerangka logam-organik dalam ilmu lingkungan (Li *et al.*, 2020), studi oksidasi bijih sulfida (Hong *et al.*, 2020), aplikasi energi matahari (Bravo Hidalgo *et al.*, efisiensi sel surya (Sabour and Jafari 2020), limbah pertanian (Duque-Acevedo *et al.*, 2020), penelitian biofilm *Pseudomonas aeruginosa* (Zhu *et al.* 2020), teknologi di sektor energi terbarukan (Moro, Joanny, and Moretti 2020), aplikasi penginderaan jauh (Duan, Wang, and Yin 2020), produksi selulase mikroba menggunakan sisa biomassa lignoselulosa (Roth, Hoeltz, and Benitez 2020), visualisasi penelitian kegempaan di Indonesia (Royani and Kusumaningrum, 2019), perkembangan penelitian bidang pertanian (Tupan, 2016), perkembangan penelitian bidang instrumentasi, bidang keuangan (Baker *et al.*, 2020), dan lain sebagainya.

Scopus adalah salah satu basis data pustaka terbesar di dunia, terkemuka dan bereputasi tinggi, yang dikembangkan oleh Elsevier. *Scopus* memuat lebih dari 22.000 judul dari 5.000 penerbit di seluruh dunia dan merupakan salah satu basis data yang telah banyak digunakan dalam studi bibliometrik. *Scopus* berisikan basis data abstrak dan sitasi publikasi (jurnal ilmiah, buku, dan prosiding konferensi) yang sebagian besar dalam penerbitannya melalui proses *peer-review* atau penelaah dengan standar dan kebijakan yang ketat. *Scopus* memiliki fokus pada bidang ilmiah sains, teknologi, kedokteran, ilmu sosial, serta seni dan humaniora. Selain publikasi karya ilmiah, *Scopus*

juga menyajikan data hak paten di seluruh dunia. Dalam pemanfaatannya, *Scopus* mampu membantu para ilmuwan untuk melacak, menganalisis, dan memvisualisasi penelitian (Tupan, Rochani Nani Rahayu, Rulina Rachmawati 2018; Elsevier 2020).

VOSviewer adalah perangkat lunak atau aplikasi yang dikembangkan oleh Universitas Leiden, Belanda. *VOSviewer* dapat diaplikasikan untuk membuat berbagai peta berdasarkan data jaringan dan dapat juga digunakan untuk memvisualisasikan data. *VOSviewer* dapat digunakan untuk membangun jaringan publikasi ilmiah, jurnal ilmiah, peneliti, organisasi penelitian, negara, kata kunci, atau istilah. Item dalam jaringan ini dapat dihubungkan dengan penulisan bersama, *co-occurrence*, kutipan, penggabungan bibliografi, atau tautan kutipan bersama. Untuk membangun peta jaringan, file basis data bibliografi yang dapat digunakan diantaranya *Web of Science*, *Scopus*, *Dimension*, dan *file PubMed*. *VOSviewer* menyediakan tiga visualisasi peta yaitu visualisasi jaringan, visualisasi *overlay*, dan visualisasi kepadatan atau kerapatan (Eck and Waltman, 2020). Banyak studi global yang menggunakan aplikasi *VOSviewer* untuk visualisasi, sehingga metodenya cukup teruji dan diterima secara ilmiah.

3. METODE

3.1 Penelusuran Data

Kajian ini dimulai dengan menetapkan topik atau kata kunci penelitian yang akan ditelusuri pada basis data *Scopus* (<https://www.scopus.com>). Penelusuran pada basis data untuk mengidentifikasi publikasi-publikasi yang relevan dengan bidang proteksi petir, sistem pentanahan dan resistivitas tanah. Strategi pencarian dilakukan menggunakan topik atau kata kunci melalui ruas pencarian dokumen laman *Scopus* (Yeung and Mozos, 2020; Kokol, Blažun Vošner, and Završnik, 2020; Yang *et al.* 2020; Saikia *et al.*, 2020; Yao *et al.*, 2020). Adapun topik atau kata kunci yang digunakan *lightning OR lightning protection AND grounding system OR ground system AND soil resistivity OR soils resistivity*. Dalam penelusuran tidak ada batasan terkait jenis akses, jenis dokumen, tahun, penulis, jurnal, subjek area hingga bahasa. Artinya semua publikasi yang berkaitan dengan proteksi petir, sistem pentanahan dan resistivitas tanah akan ditampilkan dari publikasi pertama hingga yang paling akhir. Data lengkap dan referensi yang dikutip dari publikasi ini berasal dari basis data *Scopus*.

3.2 Pengolahan dan Visualisasi

Data-data hasil penelusuran kemudian diolah dan dianalisis secara deskriptif berdasarkan tahun publikasi, negara/wilayah, afiliasi/lembaga, nama jurnal yang mempublikasikan, subjek penelitian, dan nama penulis. Kemudian untuk mendapatkan peta perkembangan penelitian, data-data tersebut di-*export* dalam format CSV (*comma separated values*) file. Selanjutnya data tersebut diolah menggunakan aplikasi *VOSviewer* untuk analisis dan visualisasi (Lima, 2020; Renzi *et al.*, 2020; Hamad *et al.*, 2019; Wong and Romano 2018; Eck and Waltman, 2020). *VOSviewer* yang digunakan merupakan versi terbaru 1.6.15 (Leiden University, Leiden, Belanda).

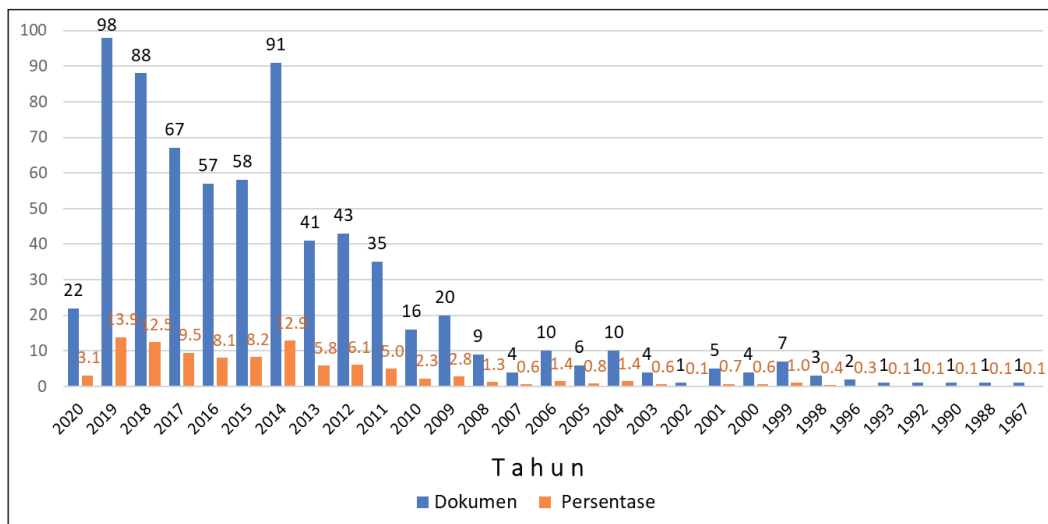
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tren Perkembangan Publikasi Tahunan

Hasil penelusuran menunjukkan bahwa publikasi pertama bidang proteksi petir, sistem pentanahan dan resistivitas tanah yaitu tahun 1967 dengan 1 dokumen. Pada tahun 1968 hingga 1987, 1989, 1991, 1994, 1995 dan 1997 tidak ada publikasi, kemudian kembali ada publikasi mulai tahun 1998. Dalam kurun waktu antara tahun 1998 hingga 2008, penelitian di bidang ini mulai konsisten diminati walaupun dari sisi jumlah publikasi masih terhitung sedikit dengan rata-rata 6 dokumen per tahun.

Sejak tahun 2009, perkembangan publikasi mengalami peningkatan yang cukup signifikan dari tahun sebelumnya (2008) bahkan hingga mencapai lebih dari 100% dari 9 dokumen menjadi 20 dokumen. Pertumbuhan publikasi ini terus mengalami peningkatan dan konsisten. Hingga tahun

2020, total publikasi yang teridentifikasi mencapai 706 dokumen. Perkembangan sangat signifikan terjadi pada kurun waktu enam tahun terakhir antara tahun 2014 – 2020, yaitu sebanyak 481 dokumen atau setara 68,1% dari total 706 dokumen semua tahun. Publikasi tertinggi terjadi pada tahun 2019 dengan 98 dokumen atau setara 13,9%. Perkembangan publikasi kurun waktu 1967 – 2020 terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Perkembangan publikasi tahunan
 Sumber: Scopus (2020)

4.2 Produktivitas Lembaga/Afiliasi

Beberapa afiliasi/Lembaga yang melakukan penelitian terkait proteksi petir, sistem pentanahan dan resistivitas tanah selama kurun waktu tahun 1967 – 2020, dengan minimal 2 publikasi teridentifikasi sebanyak 160 lembaga di seluruh dunia. Sepuluh besar afiliasi/lembaga terproduktif ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sepuluh besar afiliasi/lembaga terproduktif

No.	Afiliasi	Dokumen	Kutipan	Negara
1	Universidade Federal de Minas Gerais	56	804	Brazil
2	Tsinghua University	38	550	China
3	Universiti Putra Malaysia	30	147	Malaysia
4	National Technical University of Athens	29	152	Yunani
5	Wuhan University	25	132	China
6	Multimedia University	23	221	Malaysia
7	Southwest Jiaotong University	22	49	China
8	Cardiff University	21	235	UK
9	Chongqing University	15	94	China
10	Centro Federal de Educação Tecnológica De Minas Gerais	15	145	Brazil
99	Institut Teknologi Bandung	3	2	Indonesia

Sumber: Scopus (2020)

Tabel 1 menunjukkan bahwa *Universidade Federal de Minas Gerais Brazil* merupakan institusi produktif teratas yang mempublikasikan bidang penelitian ini sebanyak 56 publikasi dengan kutipan 804, diikuti *Tsinghua University China* sebanyak 38 publikasi dengan 550 kutipan dan *Universiti Putra Malaysia* sebanyak 30 publikasi dengan 152 kutipan. Institusi di Indonesia diwakili oleh Institut Teknologi Bandung (ITB) yang berada pada peringkat 99 dunia dengan total 3 publikasi dengan 2 kutipan.

4.3 Produktivitas dan Kolaborasi Peneliti

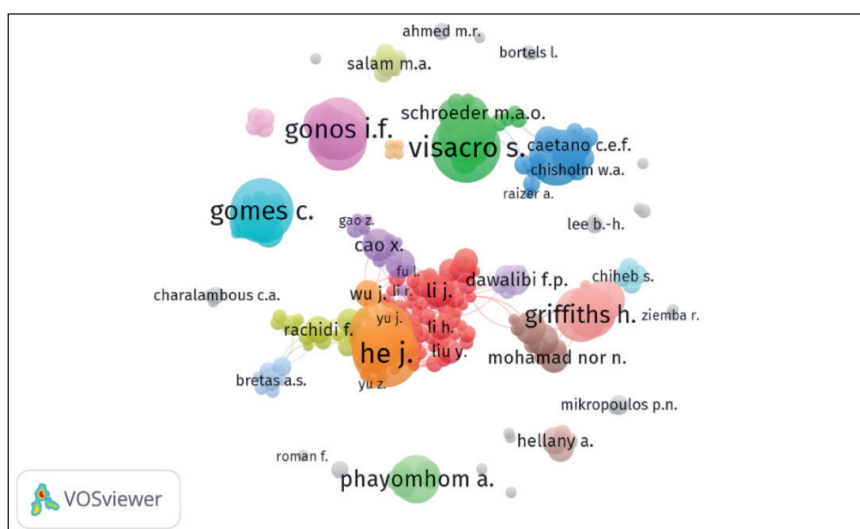
Jumlah peneliti yang berkontribusi pada penelitian tentang proteksi petir, sistem pentanahan, dan resistivitas tanah dengan minimal 3 publikasi adalah sebanyak 219 penulis. Sepuluh besar peneliti kontributor teratas dari tahun 1969 – 2020 dalam hal *output* dapat dilihat pada Tabel 2. Selanjutnya, untuk mengetahui tim penelitian, analisis *co-authorship* dengan *VOSviewer* dilakukan, dimana jumlah minimum publikasi per peneliti ditetapkan minimal 3 publikasi. Analisis ini untuk mengungkapkan jaringan kolaborasi antara peneliti, ditunjukkan pada Gambar 3. Sebagai catatan, *VOSviewer* hanya menampilkan peneliti pertama dari publikasi.

Tabel 2. Top 10 penulis tentang proteksi petir, sistem pentanahan dan resistivitas tanah

No.	Peneliti	Afiliasi	Dokumen	Kutipan	Total <i>link strength</i>	Negara
1	Visacro S.	Federal University of Minas Gerais	29	630	28	Brazil
2	He J.	Tsinghua University	28	418	73	China
3	Zhang B.	Tsinghua University	27	352	65	China
4	Gomes C.	Universiti Putra Malaysia	26	135	53	Afrika Selatan
5	Gonos I.f.	National Technical University of Athens	25	145	55	Yunani
6	Alipio R.	Federal University of Minas Gerais	23	511	36	Brazil
7	Stathopoulos I.A.	National Technical University of Athens	23	147	50	Yunani
8	Paulino J.O.S.	Federal University of Minas Gerais	22	164	72	Brazil
9	Griffiths H.	Petroleum Institute	21	235	55	UAE
10	Haddad A.	Cardiff University	20	235	54	UK
11	Anggoro B.	Institut Teknologi Bandung	3	2	0	Indonesia

Sumber: Scopus (2020)

Tabel 2 menunjukkan peneliti teratas adalah Visacro, S. dengan afiliasi *Federal University of Minas Gerais Brazil* dengan 29 publikasi. Selanjutnya, He J. dengan afiliasi *Tsinghua University* dengan masing-masing 28 publikasi, dan Zhang B. dengan 27 publikasi. Kemudian untuk peneliti Indonesia berada pada peringkat 151 dengan 3 publikasi, yaitu Anggoro B dari Institut Teknologi Bandung.



Gambar 3. Kolaborasi bersama antar peneliti, terdiri dari 219 penulis dan 33 kluster

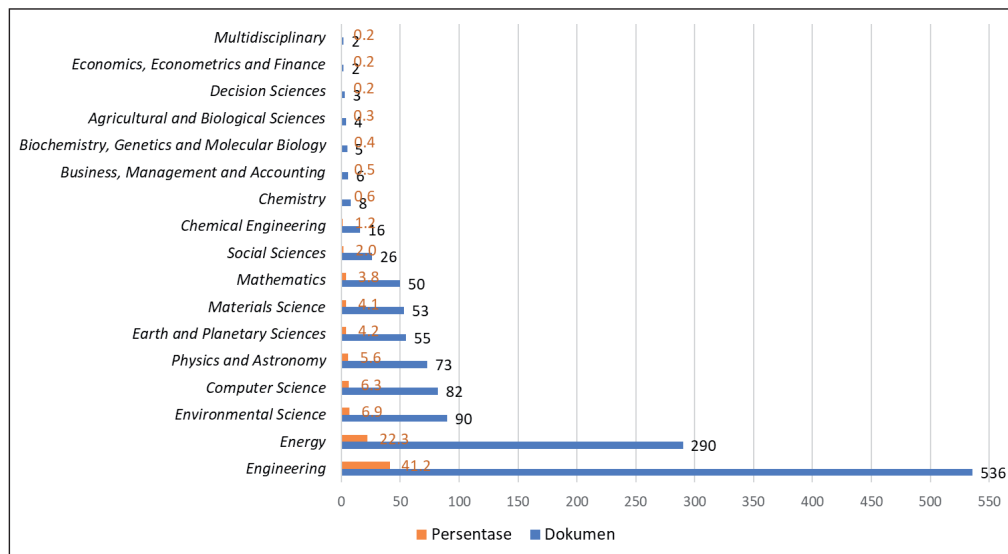
Sumber: Hasil olah data (2020)

Gambar 3 menunjukkan bahwa kecenderungan peneliti dalam melakukan publikasi dilakukan secara kolaborasi dengan beberapa peneliti. Namun, beberapa para peneliti umumnya masih bekerja dalam kelompok-kelompok yang lebih kecil berdasarkan negara masing-masing. Dari 219 penulis yang memiliki publikasi minimal 3 tersebut, sebanyak 8 penulis tidak atau belum memiliki jaringan global, padahal beberapa di antara penulis tersebut memiliki lebih dari 3 publikasi. Peneliti tersebut diantaranya Abdul-Malek z. dengan 5 publikasi dan 12 kutipan, Ahmed m.r. 5 publikasi dan 13 kutipan. Anggoro B dengan 3 publikasi dan 2 kutipan.

4.4 Sebaran Subjek Penelitian

Berdasarkan basis data *Scopus*, subjek penelitian tentang proteksi petir, sistem pentanahan dan resistivitas tanah terdiri dari 17 subjek area. Pola sebaran publikasi berdasarkan subjek area untuk riset terkait dapat terlihat pada Gambar 4.

Gambar 4 menunjukkan bahwa subjek area yang paling banyak diteliti adalah *engineering* sebanyak 536 dokumen atau 41,2%, *energy* sebanyak 290 dokumen atau 22,3%, dan *environmental science* sebanyak 90 dokumen atau 6,9%. Subjek area yang masih sedikit yaitu *decision sciences* sebanyak 3 dokumen atau 0,2% *economics, econometrics and finance*, dan *multidisciplinary* masing-masing sebanyak 2 dokumen atau 0,2%. Sebaran dokumen berdasarkan subjek area penelitian tersebut memberikan gambaran bahwa penelitian yang banyak dilakukan pada bidang terkait erat hubungannya dengan *engineering* atau keteknikan, energi dan lingkungan. Untuk subjek yang belum banyak dilakukan riset dan publikasi terkait bidang ini diantaranya multidisiplin, ekonomi dan pembiayaan, kebijakan, pertanian dan biologi, biokimia genetika dan biologi molekuler, bisnis dan manajemen, dan kimia.



Gambar 4. Sebaran subjek penelitian

Sumber: Scopus (2020)

4.5 Jurnal Utama

Jurnal utama yang menerbitkan tentang proteksi petir, sistem pentanahan dan resistivitas tanah teridentifikasi sebanyak 160 jurnal. Sepuluh besar jurnal teratas yang paling banyak mempublikasi hasil riset bidang terkait, terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Sepuluh besar jurnal yang memuat publikasi terbanyak

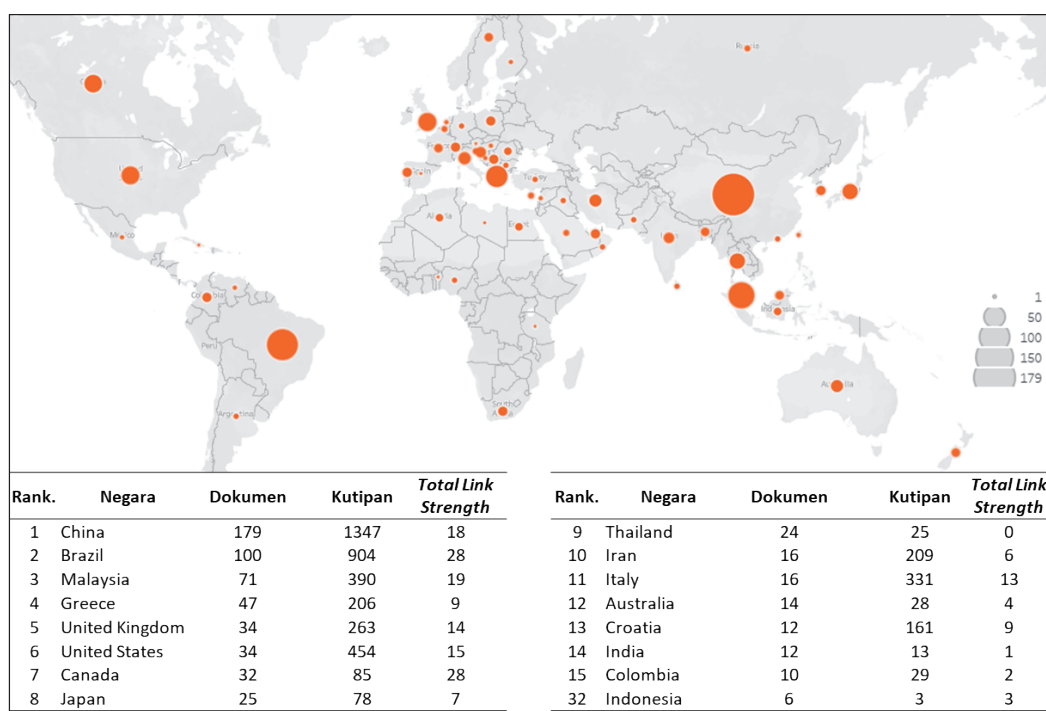
No.	Jurnal	Dokumen	Kutipan	Negara
1	<i>Electric Power Systems Research</i>	41	311	Belanda
2	<i>Gaodianya Jishu High Voltage Engineering</i>	35	358	China
3	<i>IEEE Transactions on Power Delivery</i>	33	806	US
4	<i>IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility</i>	26	880	US
5	<i>IEEE Transactions on Industry Applications</i>	25	207	US
6	<i>Gaoya Dianqi High Voltage Apparatus</i>	9	7	China
7	<i>International Journal of Electrical Power and Energy Systems</i>	7	75	Belanda
8	<i>Dianwang Jishu Power System Technology</i>	6	31	China
9	<i>Energies</i>	6	4	Swiss
10	<i>IEEE Access</i>	6	6	US
36	<i>Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science</i>	2	3	Indonesia

Sumber: Scopus (2020)

Tabel 3 menunjukkan bahwa jurnal teratas yang mempublikasikan hasil riset ini adalah *Electric Power Systems Research* sebanyak 43 dokumen dengan 311 kutipan, diikuti *Gaodianya Jishu High Voltage Engineering* sebanyak 35 dokumen dengan 358 kutipan, dan *IEEE Transactions on Power Delivery* sebanyak 33 dokumen dengan 806 kutipan. Jurnal Indonesia yaitu *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science* berada pada posisi 36 sebanyak 2 publikasi dengan 3 kutipan.

4.6 Produktivitas Negara dan Kolaborasi

Dari 706 publikasi yang teridentifikasi dari basis data *Scopus*, sebanyak 66 negara berkontribusi pada penelitian tentang proteksi petir, sistem pentanahan dan resistivitas tanah. Sebaran dan 15 besar negara dengan kontribusi terbanyak dapat terlihat pada Gambar 5. Analisis *co-authorship* dilakukan untuk mengetahui kolaborasi atau jaringan beberapa negara kontributor, dimana untuk mendapatkan resolusi yang lebih tinggi, jumlah minimum publikasi ditetapkan menjadi 1 publikasi. Hasil analisisnya dapat dilihat pada Gambar 5.

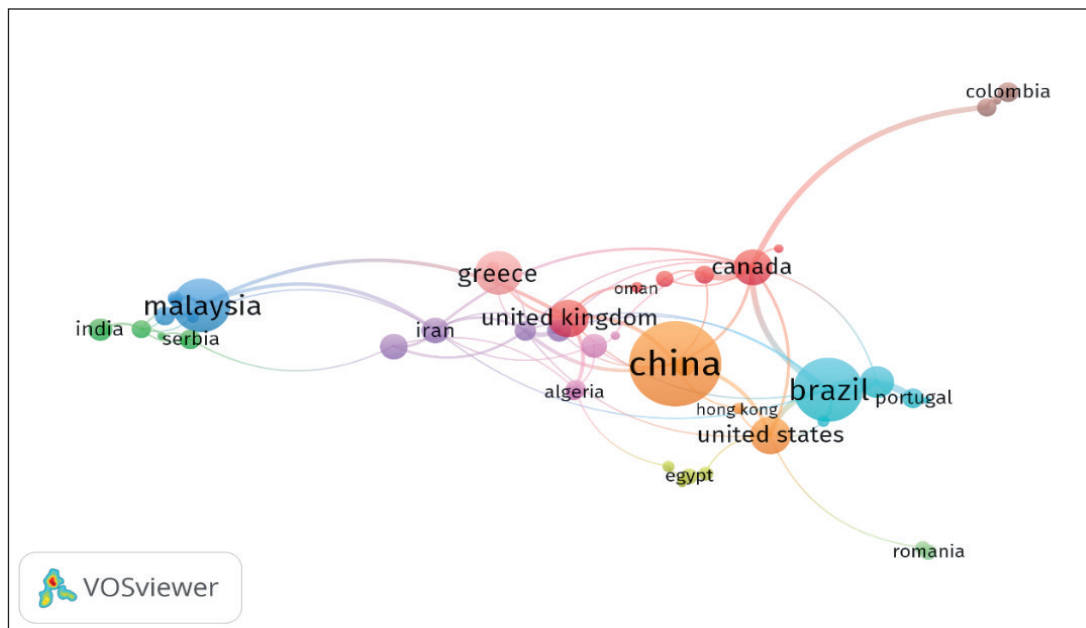


Gambar 5. Sebaran dan 15 besar negara publikasi terbanyak

Sumber: Hasil olah data (2020)

Gambar 5 menunjukkan bahwa negara teratas yang mempublikasikan bidang riset ini pada kurun waktu 1967 – 2020 adalah China sebanyak 179 publikasi dari total keseluruhan publikasi dunia, Brazil sebanyak 100 publikasi, dan Malaysia sebanyak 71 publikasi. Indonesia berada pada peringkat 32 dengan 6 publikasi. Peringkat Indonesia masih tertinggal dari beberapa negara-negara ASEAN seperti Malaysia (3), Thailand (9), dan Brunei Darussalam yang berada pada peringkat 23.

Gambar 6 menunjukkan bahwa negara-negara kontributor utama dalam publikasi melakukan kolaborasi dengan negara-negara lain. China yang merupakan negara dengan publikasi teratas memiliki jaringan kolaborasi dengan beberapa negara diantaranya Britania Raya, Amerika Serikat, Kanada, Swiss, Brunei, Kroasia, dan Hongkong. Brazil berkolaborasi dengan Amerika Serikat, Kanada, Jepang, Portugal, Argentina, Iran, dan Argentina. Kemudian, Malaysia berkolaborasi dengan Amerika Serikat, Iran, Indonesia, Iran, Swedia, Slovenia, Afrika Selatan, dan Irak. Negara-negara tersebut dapat menjadi rujukan untuk kolaborasi riset global bagi para periset maupun akademisi yang akan melakukan studi dan penelitian pada bidang riset ini karena negara-negara tersebut secara konsisten melakukan penelitian dan publikasi bidang terkait. Dari 66 negara yang berkontribusi pada bidang ini terdapat 51 negara yang saling berkolaborasi dengan minimal 1 publikasi, sedangkan 15 negara belum melakukan kolaborasi dengan negara lain, diantaranya Thailand dan Taiwan. Hal ini cukup menarik mengingat Thailand merupakan negara peringkat 9 publikasi terbanyak dengan 24 publikasi, sedangkan Taiwan 2 publikasi dengan 16 kutipan.



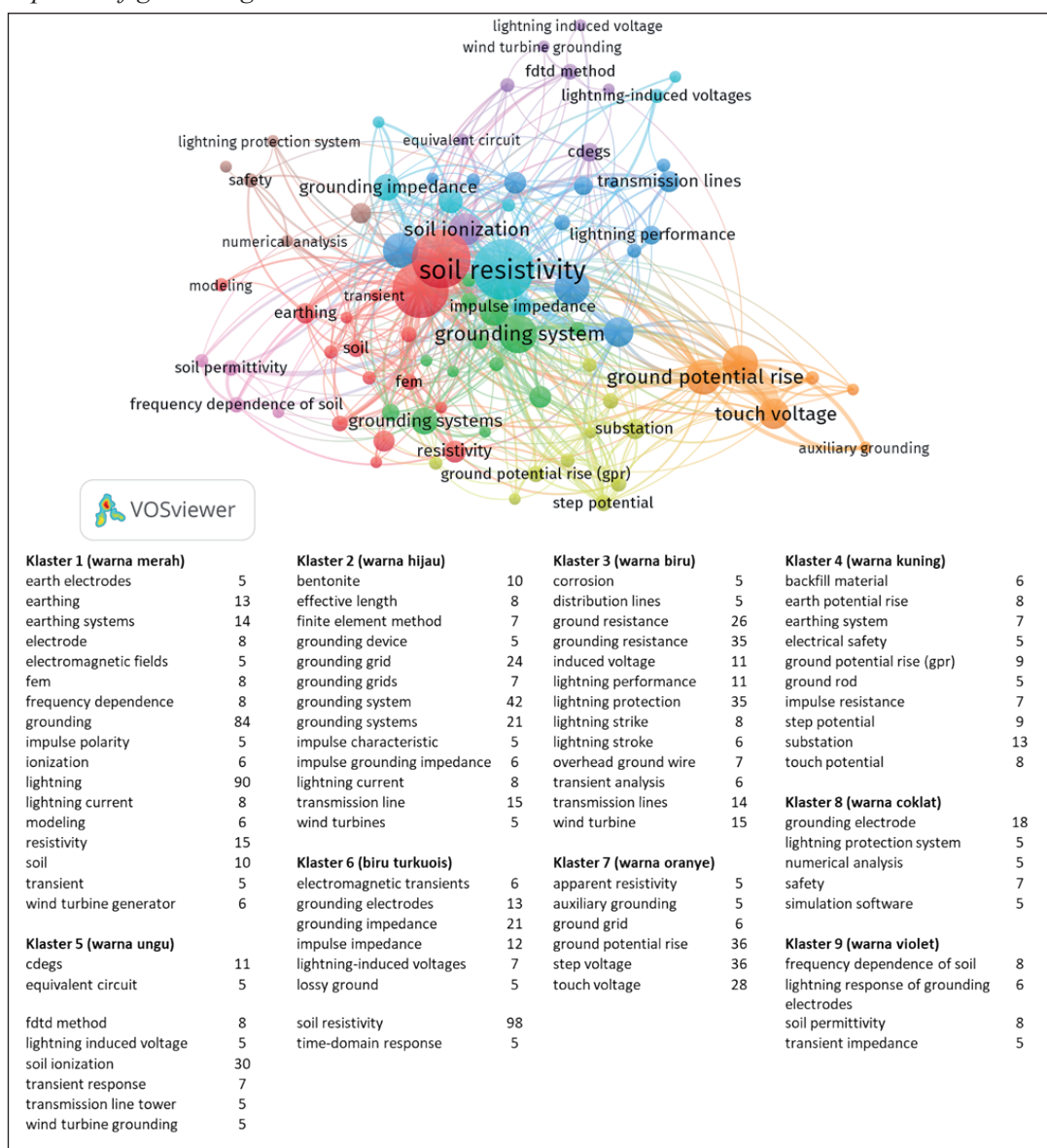
Gambar 6. Kolaborasi penulisan bersama antar Negara. Garis hubung menunjukkan kolaborasi sedangkan ketebalan garis menunjukkan kekuatan kolaborasi

Sumber: Hasil olah data (2020)

4.7 Peta Perkembangan Publikasi berdasarkan Kata Kunci

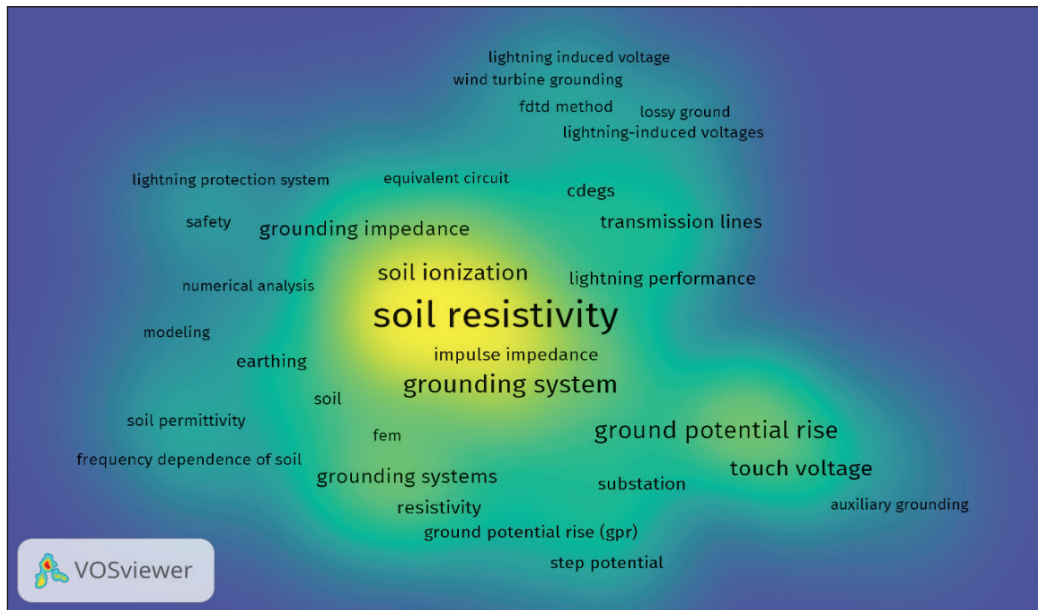
Dari 706 dokumen basis data *Scopus* tentang proteksi petir, sistem pentanahan dan resistivitas tanah, teridentifikasi 1571 topik berdasarkan kata kunci dari penulis. Visualisasi jaringan dan *overlay* menunjukkan bahwa hubungan antar topik diperlihatkan dengan garis antar deskriptor pada masing-masing bidang. Semakin banyak garis hubung antar deskriptor semakin dekat hubungan antar dokumen, sebaliknya semakin sedikit atau tidak ada garis menunjukkan dokumen yang masih sedikit atau tidak ada. Kemudian dengan visualisasi *density*/kepadatan menunjukkan hubungan antara topik dengan skala warna. Warna kuning menunjukkan tingkat frekuensi penelitian yang padat atau tinggi, sedangkan semakin hijau menunjukkan jarang atau rendah.

Gambar 7 menunjukkan visualisasi jaringan dan analisis kata kunci berdasarkan kemunculan bersama tentang riset proteksi petir, sistem pentanahan dan resistivitas tanah kurun waktu 1967-2020. Setiap titik memiliki warna yang tergantung pada jaringan topik. Hal tersebut mengidentifikasi bahwa warna titik di peta tergantung pada jaringan dengan topik lain. Visualisasi jaringan terdiri 9 kluster dengan kelompok warna masing-masing. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian bidang ini memiliki arah pengembangan penelitian yang terbagi dalam sembilan kelompok. Kluster 1 cenderung mengarah ke permasalahan *lightning, grounding, resistivity, earthing system, soil*, hingga *electroda*. Kluster 2 tentang *grounding system, grounding grid, transmission line, effective length, lightning current, bentonite*, hingga *finite element method*. Selanjutnya, kluster 3 tentang *grounding resistance, lightning protection, lightning strike*, hingga *corrosion*. Kluster 4 tentang *substation, step potential* hingga *backfill material*. Kluster 5 tentang *soil ionization* dan *transient response*. Kluster 6 tentang *soil resistivity, grounding impedance* hingga *lossy ground*. Kluster 7 tentang *step voltage, touch voltage* hingga *apparent resistivity*. Kluster 8 tentang *grounding electrode, numerical analysis* hingga *simulation software*. Kluster 9 tentang *electrode soil permittivity*, hingga *lightning response of grounding*.



Gambar 7. Visualisasi dan klusterisasi berdasarkan *co-occurrences*

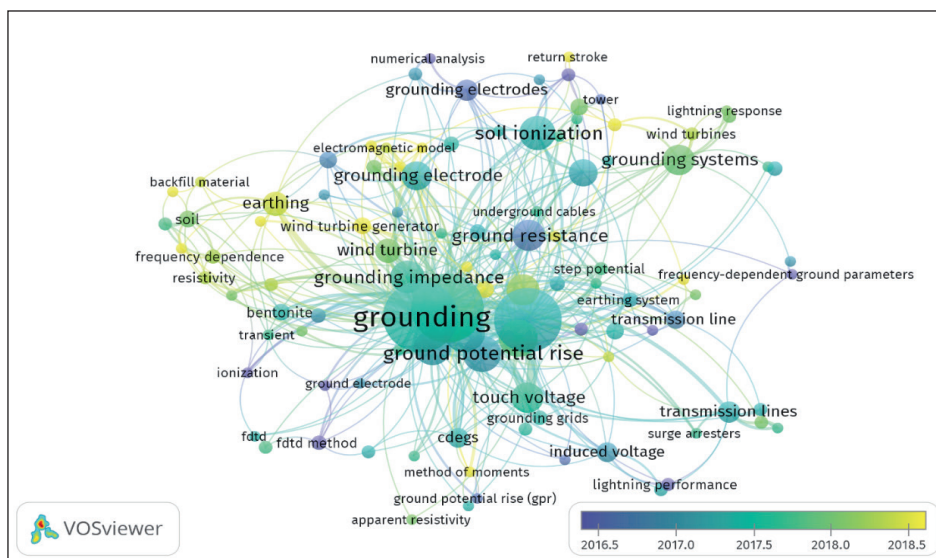
Sumber: Hasil olah data (2020)



Gambar 8. Visualisasi *density* atau kerapatan topik
 Sumber: Hasil olah data (2020)

Gambar 8 menunjukkan visualisasi *density*, dimana setiap titik memiliki warna yang tergantung pada kepadatan item. Hal tersebut mengidentifikasi bahwa warna titik di peta tergantung pada jumlah item yang terkait dengan item lain. Bagian ini untuk memperoleh gambaran dari struktur umum peta bibliometrik dengan memperlihatkan bagian item yang dianggap penting untuk dianalisis. Melalui lembar kerja ini, kita dapat menafsirkan kata kunci yang paling banyak digunakan dalam suatu publikasi. Topik penelitian yang berkaitan dengan proteksi petir, sistem pentanahan dan resistivitas tanah yang cukup banyak dipublikasi ditunjukkan dengan warna kuning, beberapa diantaranya adalah *soil ionization*, *impulse impedance*, *ground potentials rise*, *touch voltage*, dan *transmission line*. Sedangkan topik penelitian yang masih sedikit ditunjukkan warna hijau, diantaranya *substation*, *electrical safety*, *modeling*, *step potential*, *lossy ground*, *auxiliary grounding*, *backfill material*, dan *soil permittivity*.

Untuk mengetahui tren perkembangan topik terkini tentang riset terkait dalam kurun waktu 2015 – 2020, dilakukan analisis *co-occurrences*, jumlah minimum topik yang ditetapkan minimum 3. Hasil visualisasi perkembangan topik terkini terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Visualisasi topik terkini kurun waktu 2015 – 2020
 Sumber: Hasil olah data (2020)

Visualisasi *overlay* pada Gambar 9 menunjukkan tren perkembangan topik/kata kunci berdasarkan waktu (tahun). Warna biru merupakan topik/kata kunci lebih awal sedangkan warna kuning relatif terbaru yang berkaitan dengan proteksi petir, sistem pentanahan dan resistivitas tanah. Untuk kurun waktu 2015 – 2020 teridentifikasi sebanyak 1026 topik. Adapun tren topik riset terkini dari yang paling banyak dan masih sedikit diantaranya *grounding resistance*, *grounding electrode*, *soil ionization*, *wind turbine*, *touch voltage*, *bentonite*, *soil*, *backfill material*, *natural enhancement material*, *tower*, *return stroke*, *electromagnetic model*, *underground cables*, dan *method of moments*.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan studi yang telah dilakukan tentang perlindungan petir, sistem pentanahan, dan resistivitas tanah dapat disimpulkan bahwa publikasi pertama adalah tahun 1967, tertinggi pada rentang tahun 2014 – 2020 dengan 481 publikasi (68,1%) dan total hingga tahun 2020 teridentifikasi 706 publikasi. Sementara itu negara yang mendominasi penelitian bidang ini yaitu China, Brazil, dan Malaysia. Selain itu, Universidade Federal de Minas Gerais merupakan lembaga paling produktif dan Visacro menjadi penulis paling produktif pada topik penelitian ini.

Subyek mengenai *Engineering* (41,2%) dan *energy* (22,3%) menjadi subjek paling banyak ditulis, sedangkan tema yang berkaitan dengan *multidisciplinary* masih jarang dijumpai (0,2%). *Electric Power Systems Research Journal* merupakan jurnal teratas yang mempublikasikan topik penelitian ini. Selain itu, peta perkembangan publikasi berdasarkan *co-occurrences* terdiri dari 9 klaster. Topik riset yang masih sedikit diantaranya yaitu *substation*, *electrical safety*, dan *backfill material*, sedangkan topik riset terkini diantaranya *grounding electrode*, *soil ionization*, *tower*, *wind turbine*, *bentonite*, *natural enhancement material*, *return stroke*, dan *electromagnetic model*.

Sementara itu, Indonesia memiliki total 6 publikasi terindeks Scopus (peringkat 32) dan masih tertinggal dari beberapa negara ASEAN seperti Malaysia (3), Thailand (10), dan Brunei Darussalam (23). Penelitian bidang ini penting dilakukan mengingat Indonesia merupakan salah satu negara dengan intensitas petir tinggi.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini mengusulkan beberapa rekomendasi, di antaranya untuk (a) pemerintah, yaitu menetapkan kebijakan riset bidang ini menjadi salah satu program prioritas; dan membentuk pusat studi baru atau mengoptimalkan fungsi K/L yang ada; (b) peneliti dan akademisi, yaitu meningkatkan publikasi dan kolaborasi skala global, melakukan riset pada bidang atau topik yang masih jarang atau belum dilakukan, dan membentuk komunitas riset; dan (c) masyarakat, yaitu meningkatkan kesadaran dan pemahaman tentang mitigasi bahaya dari aktivitas petir.

6. SARAN DAN UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis berikan kepada Kepala Pusat Penelitian Geoteknologi, Kepala Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (program *by research* – LIPI), Kepala Prodi Magister Inovasi Regional SPS UNPAD, Koordinator Poklit ESDG P2G – LIPI (Prof. Dr. Haryadi Permana) dan tim Poklit ESDG (Dr. Iwan Setiawan, M.T dan Dedi Mulyadi, M.T). Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Editor, Reviewer, Tim Jurnal BACA dan semua pihak yang membantu.

DAFTAR PUSTAKA

- Azmi, A., Ahmad, N. A., Yiew, L. K., & Abdul-Malek, Z. (2019). The use of enhancement material in grounding system: A review. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 13(2), 453–460. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v13.i2.pp453-460>
- Baker, H. K., Kumar, S., & Pattnaik, D. (2020). Fifty years of the financial review : A bibliometric overview. *Financial Review*, 55(1), 7–24. <https://doi.org/10.1111/fire.12228>

- Bankar, R. S., & Lihitkar, S. R. (2019). Science mapping and visualization tools used for bibliometric and scientometric studies: A comparative study. *Journal of Advancements in Library Sciences*, 6(1st), 382–394. <https://doi.org/https://doi.org/10.37591/joals.v6i1.1807>
- Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future köppen-geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Journal Scientific Data*, 5, 1–12. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
- Bravo Hidalgo, D., Jiménez Borges, R., & Valdivia Nodal, Y. (2018). Applications of solar energy: history, sociology and last trends in investigation. *Producción + Limpia*, 13(2), 21–28. <https://doi.org/10.22507/pml.v13n2a3>
- Duan, P., Wang, Y., & Yin, P. (2020). Remote sensing applications in monitoring of protected areas: a bibliometric analysis. *Remote Sensing*, 12(5), 772. <https://doi.org/10.3390/rs12050772>
- Duque-Acevedo, M., Belmonte-Ureña, L. J., Cortés-García, F. J., & Camacho-Ferre, F. (2020). Agricultural waste: Review of the evolution, approaches and perspectives on alternative uses. *Global Ecology and Conservation*, 22, e00902. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00902>
- Eck, N. J. Van, & Waltman, L. (2020). *VOSviewer manual - Manual for VOSviewer version 1.6.15*. Universiteit Leiden.
- Ellegaard, O., & Wallin, J. A. (2015). The bibliometric analysis of scholarly production: How great is the impact? *Scientometrics*, 105(3), 1809–1831. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1645-z>
- Elsevier. (2020). What is Scopus about? Di <https://service.elsevier.com/app/answers/detail>.
- Furse. (2012). *BS EN / IEC 62305 Lightning protection standard Key points Guide to BS EN / IEC 62305*. Furse, Wilford Road, Nottingham.
- Halim, N. H., Hairuddin, M. F., Arshad, S. N. M., Isa, M., Adzis, Z., & Khang, A. W. Y. (2019). Analysis on topology of grounding system using bentonite and coconut husk as additive material. *Universal Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 6(5A), 50–58. <https://doi.org/10.13189/ujeee.2019.061506>
- Hamad, S., Shah, H., Ali, M., & Hussain, S. T. (2019). *Prosumption : Bibliometric analysis using HistCite and VOSviewer Prosumption : bibliometric analysis using HistCite and VOSviewer*. August. <https://doi.org/10.1108/K-12-2018-0696>
- Himawanto, H. (2016). Kajian Bibliometrika terhadap artikel bidang teknologi minyak dan gas bumi di Indonesia (Bibliometric Study of the oil and gas technology field in Indonesia). *BACA: Jurnal Dokumentasi dan Informasi*, 36(1), 11. <https://doi.org/10.14203/j.baca.v36i1.200>
- Hong, R., Liu, H., Xiang, C., Song, Y., & Lv, C. (2020). Visualization and analysis of mapping knowledge domain of oxidation studies of sulfide ores. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(6), 5809–5824. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07226-z>
- Ismujianto, Isdawimah, & Nadhiroh, N. (2019). Improvement of Electrical grounding system using bentonite. *Journal of Physics: Conference Series*, 1364, 012063. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1364/1/012063>
- Iswanudin. (2019). *Peta sambaran petir tahun 2019*. Badan Meteorologi, Klimatologi, Dan Geofisika: Jakarta.
- Kokol, P., Blažun Vošner, H., & Završnik, J. (2020). Application of bibliometrics in medicine: a historical bibliometrics analysis. *Health Information & Libraries Journal*, hir.12295. <https://doi.org/10.1111/hir.12295>
- Lee, C., Member, S., Chang, C., & Jiang, J. (2015). Evaluation of ground potential rises in a commercial building during a direct lightning stroke using CDEGS. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 9994(c), 1–7. <https://doi.org/10.1109/TIA.2015.2399618>
- Li, J., Wang, L., Liu, Y., Song, Y., Zeng, P., & Zhang, Y. (2020). *The research trends of metal-organic frameworks in environmental science : a review based on bibliometric analysis. 1995*.
- Lima, R. S. (2020). *Uncertainty analysis in life cycle assessments applied to biorefineries systems : A critical review of the literature*. 1–13.
- Martin, Y., Permata, D., Despa, D., & Wiyoto, Y. L. (2019). The use of physically activated and soil composed bentonite as environment friendly for grounding resistance. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 245(1), 012004. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/245/1/012004>
- Moro, A., Joanny, G., & Moretti, C. (2020). Emerging technologies in the renewable energy sector: A comparison of expert review with a text mining software. *Futures*, 117(September 2019), 102511. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2020.102511>
- Renzi, M., Pauna, V. H., Provenza, F., Munari, C., & Mistri, M. (2020). Marine litter in transitional water ecosystems: State of the art review based on a bibliometric analysis. *Water*, 12(2), 612. <https://doi.org/10.3390/w12020612>

- Rojas, H. E., Santamaría, F., & Román, F. J. (2017). Lightning research in Colombia: Lightning parameters, protection systems, risk assessment and warning systems La investigación del rayo en Colombia: Parámetros del rayo, sistemas de protección, evaluación de riesgos y sistemas de alerta. *Ingeniería y Desarrollo. Universidad Del Norte*, 35(ISSN: 0122-3461 (impreso) 2145-9371 (on line)), 240-261. <http://dx.doi.org/10.14482/inde.35.1.8951>.
- Roth, J. C. G., Hoeltz, M., & Benitez, L. B. (2020). Current approaches and trends in the production of microbial cellulases using residual lignocellulosic biomass: a bibliometric analysis of the last 10 years. *Archives of Microbiology*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s00203-019-01796-9>
- Royani, Y., Tupan, & Kusumaningrum, D. (2019). *Visualisasi bibliometrik penelitian bidang ilmu kegempaan di Indonesia berbasis data scopus tahun 1988-2018*. 174–188. <https://doi.org/10.24252/kah.v7i2a8>
- Sabour, M. R., & Jafari, M. A. (2020). *Si-based solar cells 'conversion efficiency related publications bibliometric review during 2000-2017*.
- Saikia, K., Vallès, M., Fabregat, A., Saez, R., & Boer, D. (2020). A bibliometric analysis of trends in solar cooling technology. *Solar Energy*, 199(November 2019), 100–114. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.02.013>
- Tupan, Rochani Nani Rahayu, Rulina Rachmawati, E. S. R. R. (2018). Analisis bibliometrik perkembangan penelitian bidang ilmu instrumentasi. *BACA: Jurnal Dokumentasi dan Informasi*, 39(2), 135–149.
- Tupan. (2016). Perkembangan hasil penelitian bidang pertanian di Indonesia. *VISI PUSTAKA*, 18(3), 217–230.
- Vaisala. (2020). Lightning like never before - Annual lightning report 2020. In *VAISALA*.
- Wan Ahmad, W. F. H., Voon, Y. J., Jasni, J., Ab-Kadir, M. Z. A., & Gomes, C. (2018). Performance of bentonite, fly ash and wood ash mixtures as grounding enhancement materials. *IEEE International Conference on Power and Energy (PECon)*, 203–208. <https://doi.org/10.1109/PECON.2018.8684104>
- Wong, D., & Romano, L. (2018). *VOSviewer*. 7131, 219–220. <https://doi.org/10.1080/07317131.2018.1425352>
- Yang, C., Wang, X., Tang, X., Bao, X., & Wang, R. (2020). Research trends of stem cells in ischemic stroke from 1999 to 2018: A bibliometric analysis. *Clinical Neurology and Neurosurgery*, 192(December 2019), 105740. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2020.105740>
- Yao, R., Ren, C., Wang, J., Wu, G., Zhu, X., Xia, Z., & Yao, Y. (2020). Publication trends of research on sepsis and host immune response during 1999-2019: A 20-year bibliometric analysis. *International Journal of Biological Sciences*, 16(1), 27–37. <https://doi.org/10.7150/ijbs.37496>
- Yeung, A. W. K., & Mozos, I. (2020). The innovative and sustainable use of dental panoramic radiographs for the detection of osteoporosis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(7), 2449. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072449>
- Zhu, Y., Li, J. J., Reng, J., Wang, S., Zhang, R., & Wang, B. (2020). Global trends of Pseudomonas aeruginosa biofilm research in the past two decades: A bibliometric study. *MicrobiologyOpen*, December 2019, 1–11. <https://doi.org/10.1002/mbo3.1021>